

Pyhäjärven Junttiselän tila ja kunnostusmahdollisuudet

Marja-Leena Heikkinen ja Tero Väisänen (toim.)



Pyhäjärven Junttiselän tila ja kunnostusmahdollisuudet

Marja-Leena Heikkinen ja Tero Väisänen (toim.)



POHJOIS-POHJANMAAN
YMPÄRISTÖKESKUS

POHJOIS-POHJANMAAN YMPÄRISTÖKESKUKSEN
RAPORTEJA 7 | 2007

Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskus
Ympäristönseurantaosasto

Taitto: Mari Wuolio

Kansikuva: Esa Ojutkangas: Ilmakuva Junttiselän länsirannalta

Julkaisu on saatavana internetistä:
www.ymparisto.fi/ppo/julkaisut

Oulu 2007

ISBN 978-952-11-2846-2 (PDF)
ISSN 1796-1947 (verkkokj.)

ALKUSANAT

Pyhäjärven Junttiselän äkillinen happamoituminen keväällä 2004 käynnisti tutkimukset happamoitumisen syistä. Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskus, Geologian tutkimuskeskuksen (GTK) Itä-Suomen yksikkö sekä Kuopion ja Oulun yliopiston tutkijat ovat yhteistyössä tutkineet happamoitumisen syitä vuosina 2006–2007. Tähän selvitykseen on koottu Junttiselkä-projektin keskeiset tulokset ja esitetty tämän pohjalta kunnostussuositukset. Tulokset ovat pohjana tulevaisuudessa mahdollisesti tehtäville jatkotutkimuksille sekä kunnostustoimenpiteille happamuuspiikkien poistamiseksi ja rehevyyden vähentämiseksi.

Kiitokset tämän selvitystyön kirjoitustyöhön osallistumisesta ja asiantuntija-avusta tutkimusryhmään kuuluneille tutkimusprofessori, FT Marja Liisa Räisäselle (GTK), FT Jari Mäkiselle (GTK), FT Hannu Nykäselle (Kuopion yliopisto), fil.yo Mikko Tolkkiselle (Oulun yliopisto), tekn.yo Heidi Sunnarille (Oulun yliopisto), FT Tommi Kauppalalle (GTK) ja biologi Esa Ojutkankaalle (Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskus). Tässä työssä merkittävänä lähteenä on ollut myös DI Susanna Airiolan (Länsi-Suomen ympäristökeskus) laatima Pyhäjärven Junttiselän vesiensuojelun ja kunnostuksen yleissuunnitelma. Lisäksi kiitokset professori Esko Laksolle (Oulun yliopisto) asiantuntijalausunnosta sekä tutkimuspäällikkö Anneli Ylitoloselle kommenteista työn loppuvaiheessa.

Oulussa 7.9.2007

Marja-Leena Heikkinen

Tero Väisänen

SISÄLLYS

Alkusanat	3
1 Johdanto	7
2 Taustaa	8
3 Pyhäjärven ja Junttiselän alueen yleiskuvaus	9
3.1 Hydrologia	11
3.2 Maa- ja kallioperä.....	11
3.3 Luontoarvot ja kalasto	12
3.4 Junttiselän valuma-alue	12
3.5 Junttiselän valuma-aluetta muuttava toiminta	13
4 Junttiselän vedenlaatutarkastelu	15
4.1 Junttiselän ja Kirkkoselän vedenlaatu	16
4.2 Junttiselän ja Kirkkoselän alkuainepitoisuudet	19
4.3 Parkkima- ja Särkijokien veden laatu.....	23
4.4 Yhteenveto.....	26
5 Junttiselän sedimenttitutkimukset	27
5.1 Junttiselän ja Kirkkoselän järvisedimenttisarjojen kemiallinen koostumus.....	27
5.2 Junttiselän pintasedimentin alkuaineiden alueellinen jakautuminen	29
6 Junttiselän veden happamoituminen keväällä ja sitä säätelevät tekijät	33
6.1 Junttiselän veden fysikokemiallinen tila kevätkierron aikana	33
6.2 Junttiselän veden happamoitumisen synty ja sitä säätelevät tekijät...	34
6.3 Junttiselän sedimentin ja veden prosessitutkimukset.....	38
7 Junttiselän kuormitushistoria piilevien ilmentämänä	40
7.1 Sedimentin geokemia.....	40
7.2 Sedimentin piileväanalyysi	43
7.3 Johtopäätökset.....	50
8 Junttiselän kuormittajat.....	51
8.1 Pyhäjärven alueen ilmalaskeuma	51
8.2 Pyhäjärven alueen lumen pH ja metallipitoisuudet	51
8.3 Kaivoksen ja jätevedenpuhdistamon aiheuttama kuormitus.....	53
8.4 Valuma-alueelta tuleva ravinnekuormitus	56
8.5 Järven sisäinen ravinnekuormitus	58
9 Junttiselän kunnostuksen tavoitteet.....	60

10 Junttiselän kunnostusmahdollisuudet ja -suositukset.....	61
10.1 Toimenpidemahdollisuudet happamuuspiikkien poistamiseksi	61
10.2 Toimenpidemahdollisuudet rehevyyden vähentämiseksi	64
10.2.1 Valuma-alueella toteutetut ravinnekuormitusta vähentävät toimenpiteet.....	64
10.2.2 Toimenpidemahdollisuudet ulkoisen ravinnekuormituksen vähentämiseksi	65
10.2.3 Toimenpidemahdollisuudet sisäisen ravinnekuormituksen vähentämiseksi	71
10.3 Takaisinvirtauksen merkitys kunnostustoimenpiteitä suunniteltaessa.....	72
II Johtopäätökset	74
Lähteet	75
Kuvailulehti	78

1 Johdanto

Toukokuussa 2004 heti jäiden lähdön jälkeen Pyhäjärven Junttisälän vesi happamoitui äkillisesti. Koko 570 hehtaarin laajuisen Junttisälän pH-arvot laskivat alle viiden. Pyhäjärven Kirkkosälän pH oli puolestaan 6,8, mikä vastasi ajankohdan normaalia tilannetta. Happamuuspiikki aiheutti runsaita kalakuolemia Junttisälän alueella, mutta myös alapuolisessa Pyhäjoessa. Virtaus Tikkalansalmessa, joka erottaa Junttisälän muusta Pyhäjärvestä, kävi alavirtaan Junttisälän suuntaan, eikä hapan vesi levinnyt muualle luonto- ja virkistysarvoiltaan arvokkaaseen Pyhäjärveen. Tilanne palautui runsaiden sateiden ja lisätyn juoksutuksen ansiosta lähes normaaliksi vasta kesäkuun puolessa välissä, jolloin Junttisälän vesi oli kokonaan vaihtunut. Tuolloin syytä suuren, yhteensä 15 miljoonan kuution, vesimassan äkilliseen happamoitumiseen ei löydetty.

Junttisälän happamoitumisen syitä selvittämään perustettiin tutkimusryhmä. Tutkimuksia ovat vuodesta 2006 alkaen toteuttaneet Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskus, Geologian tutkimuskeskuksen (GTK) Itä-Suomen yksikkö sekä Kuopion ja Oulun yliopiston tutkijat. Ympäristöministeriö on rahoittanut selvitystyötä 30 000 eurolla ja GTK:n ja Kuopion yliopiston ERAC-projekti 50 000 eurolla. ERAC on osa laajempaa Kuopion seudulla toimivaa teollisuuden riskienhallintakeskuksen metallipilottia. Metallipilotissa selvitetään muun muassa metallikuormituksista aiheutuvia ympäristöriskejä ja niiden hallintakeinoja järviluonnossa. Junttisälä on metallipilotin tutkimuskohde, jossa tutkitaan kaivostoiminnan päästöjen aiheuttamia riskejä luonnon ekosysteemeille. ERAC-yhteistyössä on ollut mukana myös Pyhäsalmen kaivos (Inmet Mining Oy).

Happamoitumisen syitä lähdettiin selvittämään Junttisälän pohjan sedimentistä ja lähivaluma-alueelta. GTK on tutkinut Junttisälän sedimentin geokemiaa ja Kuopion yliopisto sedimentin biogeokemiaa eli raskasmetallien, ravinteiden ja muiden aineiden määrää sedimentissä sekä niiden vapautumista erilaisissa olosuhteissa veteen. Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskuksen tehtävänä on ollut selvittää Junttisälän lähivaluma-alueen maankäytön merkitystä Junttisälän tilaan sekä järven kuormitushistoriaa biologisin indikaattorein. Junttisälää koskevien tutkimusten tavoitteena on ollut etsiä kunnostukseen soveltuvia menetelmiä. Seuraavassa on koottu yhteen Junttisälää koskevien tutkimusten keskeiset tulokset. Tämän pohjalta on esitetty Junttisälän kunnostussuositukset.

2 Taustaa

Junttiselkä on Pyhäjärven kaupungissa sijaitsevan Pyhäjärven erillinen, pienehkö selkävesi. Junttiselkä on muuta järveä rehevämpi ja happamampi. Sen vedenlaatu on huonontunut yhdyskunnan jätevesien, Pyhäsalmen kaivoksen jätevesien sekä valuma-alueelta tulevan hajakuormituksen vuoksi. Rehevöitymisen seurauksena Junttiselän syvänteessä on esiintynyt lähes vuosittain hapettomuutta. Rehevöitymisen lisäksi happamuus on lisääntynyt Junttiselällä 30 vuoden aikana noin 0,5 yksikköä. Erityisesti kevätkuukausina esiintyviä happamuuspiikkejä on ollut havaittavissa 1990-luvun lopulta lähtien. Keväällä 2004 Junttiselän vesimassa happamoitui äkillisesti aiheuttaen kalakuolemia ja samantyyppinen happamuuspiikki esiintyi myös toukokuussa 2006. Nämä äkilliset keväiset happamuuspiikit ovat aiheuttaneet huolestuneisuutta asukkaiden ja viranomaisen keskuudessa. Samalla myös Junttiselän veden metallipitoisuudet ovat olleet nousussa. Veden alumiinipitoisuus on keväisin ajoittain ollut liian korkea esimerkiksi kaloille.

Syitä Junttiselän rehevöitymis- ja happamoitumistilanteeseen on etsittävä nykytilanteen lisäksi myös järven menneisyydestä. Monet eri ihmistoiminnot ovat kuormittaneet Junttiselkää historian saatossa, mikä näkyy järvisedimenttien koostumuksessa monin eri tavoin. Runsaan kiintoaines- ja ravinnekuormituksen sekä metallien kulkeutumisen lisääntyminen Junttiselkään liittyy 1960-luvun alkuun. Kyseiseen ajankohtaan liittyy Pyhäsalmen kaivostoiminnan alkaminen sekä yhdyskunnan jätevesien lisääntyminen. Huomioon on otettava myös Junttiselkään laskeva, lähinnä metsä- ja maataloudesta johtuva hajakuormitus sekä luonnonhuuhtouma. Yhtenä tekijänä on ollut lisäksi Pyhäjärven pinnan lasku vuonna 1936, joka on edesauttanut jo ennestäänkin matalan Junttiselän rehevöitymistä.

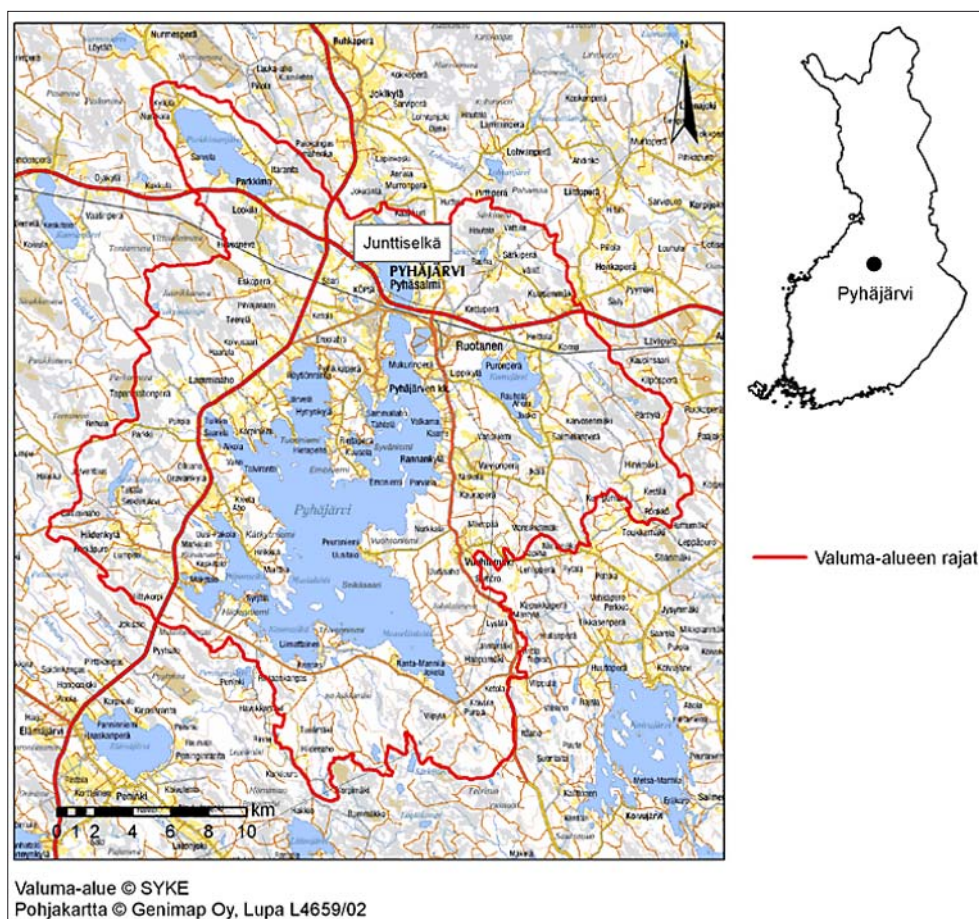
Seuraavassa on tarkasteltu yksityiskohtaisemmin happamoitumista aiheuttavia tekijöitä, Junttiselän veden ja sedimentin laatua, kuormitushistoriaa sekä nykyisiä kuormituslähteitä. Tarkastelun pohjalta on pyritty löytämään kunnostukseen soveltuvia menetelmiä. Tämä kunnostussuunnitelma pohjautuu julkaisemattomiin Pyhäjärven Junttiselän vesiensuojelun ja kunnostuksen yleissuunnitelmaan (Airiola 2000), Junttiselän piilevätutkimukseen (Tolkkinen 2007), Junttiselän vedenlaatu- ja kuormitusselvitykseen (Sunnari 2006) sekä selvityshankkeessa koottuihin tuloksiin.

3 Pyhäjärven ja Junttiselän alueen yleiskuvaus

Susanna Airiola, Mikko Tolkkinen ja Marja-Leena Heikkinen

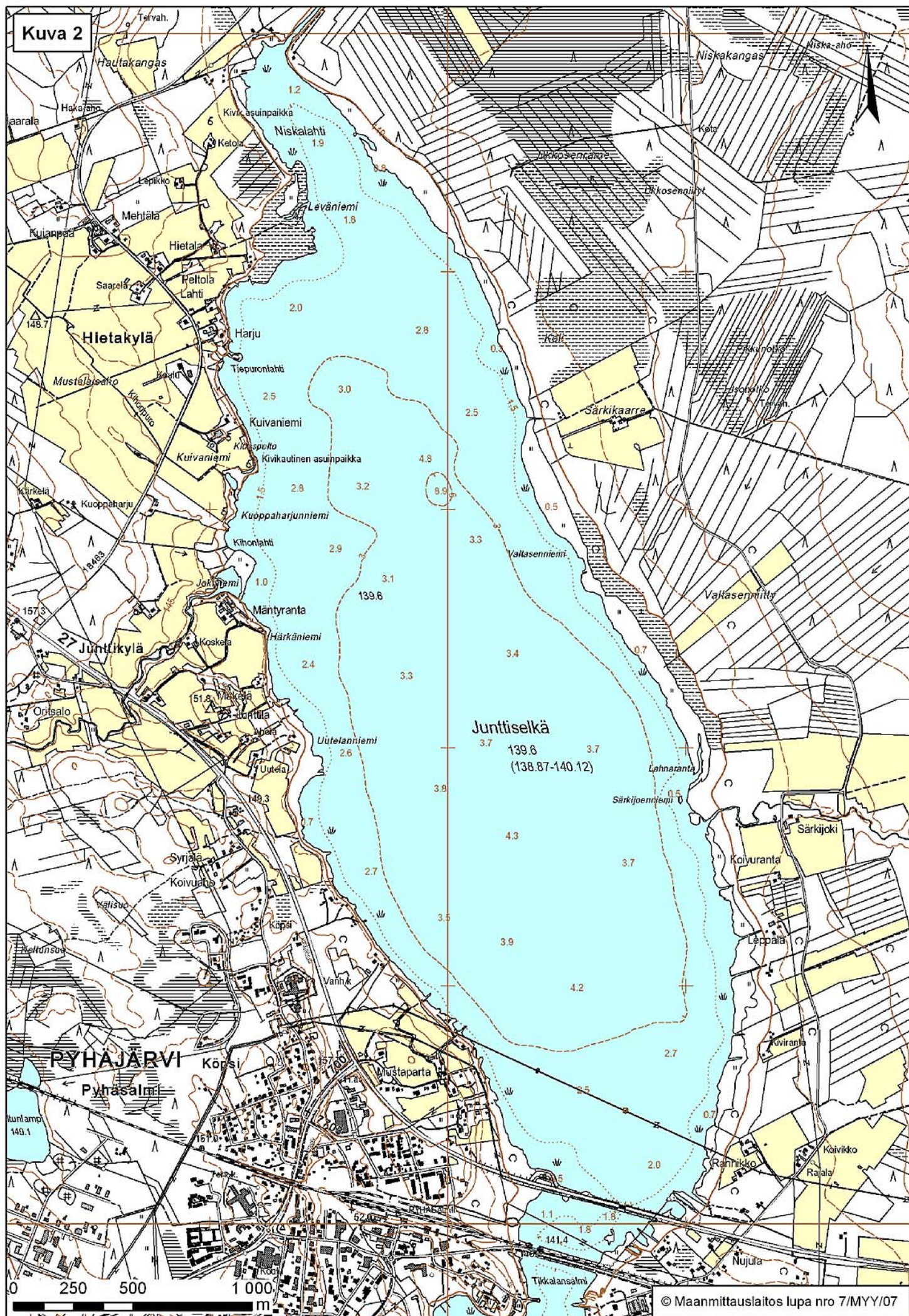
Pyhäjärvi kuuluu Pyhäjoen vesistöalueeseen ja laskee vetensä Pyhäjoen kautta Perämereen. Vesistöalueen latvajärvi Pyhäjärvi sijaitsee Pyhäjärven kaupungissa ja sen pinta-ala on 122 km². Keskisyvyys järvessä on 6,3 m ja suurin syvyys 27 m. Pyhäjärven valuma-alue on 676,42 km². Pyhäjärven niemet jakavat vesialueen useampaan osaan, joista suurimpia ovat Isoselkä, Kirkkoselkä, Emolahti ja Junttiselkä (kuva 1).

Junttiselkä on 5,7 km² laajuinen, Pyhäjärven erillinen pienehkö selkä. Junttiselkä on yhteydessä pääjärveen Tikkalansalmen silta-aukkojen kautta (kuvat 1 & 2). Junttiselän pohjoisosasta vedet virtaavat säännöstelypadon kautta Pyhäjokeen. Alue on tasaista, loivasti järveä kohti viettävää kulttuurimaisemaa. Junttiselän idänpuoleiset rannat ovat pääasiassa ojitettua rämettä asutuksen ja peltojen osuuden ollessa vähäisiä. Itäranta on pahasti umpeenkasvanutta. Junttiselän länsipuolella on runsaasti asutusta ja peltoja sekä jonkin verran loma-asutusta (Kekkonen & Korhonen 1999).



Kuva 1. Pyhäjärven valuma-alue ja Junttiselkä.

Kuva 2



Hydrologia

Pyhäjärvi on lievästi säännöstelty järvi, sen säännöstelyväli on $1,25 \text{ m a}^{-1}$. Järven säännöstely on aloitettu vuonna 1961. Säännöstelyn alarajalla Junttiselän pinta-ala on $4,8 \text{ km}^2$ ja säännöstelyn ylärajalla $6,6 \text{ km}^2$. Junttiselkä on matala lukuun ottamatta pienialaista ($1,3 \text{ ha}$) syvännettä pohjoisosassa. Junttiselän keskisyvyys on vain $2\text{--}2,5 \text{ m}$ riippuen vedenpinnan korkeudesta. Junttiselän syvänteen maksimisyvyys on noin 9 m . Vuonna 1936 Pyhäjärven pintaa on laskettu lähes metrillä. Vedenpinnan laskussa Junttiselän varastotilavuus on pienentynyt noin 5 milj.m^3 . Järvialtaan tilavuus nykyään on säännöstelyn ylärajalla $16,8 \text{ milj.m}^3$ ja säännöstelyn alarajalla $9,7 \text{ milj.m}^3$.

Tehtyjen virtaamalaskelmien (Airiola 2000) mukaan Junttiselän läpi virtaavasta vedestä pääosa tulee Tikkalansalmesta, lukuun ottamatta kevään ylivirtaamakautta, jolloin virtaus voi kääntyä Kirkkoselälle päin. Talviaikana noin joulukuun puolivälistä huhtikuun alkuun Junttiselälle tulevasta virtaamasta lähialueelta tulee vain alle 5% . Ylivirtaamakauden jälkeen noin kesäkuun puolestavälistä joulukuulle lähialueen osuus tulevasta virtaamasta vaihtelee $5\text{--}20 \%$ välillä. Veden viipymälle Junttiselällä on laskettu teoreettinen aika. Sen mukaan joulukuun maaliskuun välisenä aikana veden viipymä on 16 d ja kesä-syyskuun välisenä aikana 33 d . Pyhäjärven luusuasta padolta laskettu keskivirtaama vuosien 1972–1999 havaintojen perusteella on ollut $5,91 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

Kevään tulva-aikana Junttiselältä virtaa yleensä vettä takaisin pääjärveen päin. Veden virtaussuunta Tikkalansalmessa kääntyy, kun juoksutus Pyhäjärven luusuasta on vähäistä tai kokonaan kiinni ja Junttiselän valuma-alueelta tulee runsaasti valumavesiä. Takaisinvirtausta on tutkittu Pyhäjärvelle laaditun vesistömallin avulla (Leiviskä 1992). Vesistömallin mukaan takaisinvirtausta esiintyi vuosina 1981–1988 vuodessa $17\text{--}37$ vuorokauden mittaisena ajanjaksona huhti-toukokuun aikana. Takaisinvirtausta saattaa esiintyä hetkellisesti myös kesäaikana, jos sadanta on suurta ja samalla juoksutus luusuasta pientä. Vesistömallilla arvioitiin vuosina 1981–1988 takaisinvirtaavan veden määrän olleen $7\text{--}15 \text{ milj.m}^3 \text{ a}^{-1}$. Määrä on huomattava, koska Junttiselän tilavuus on vain 15 milj.m^3 . Tällöin Junttiselän huonolaatuinen vesi heikentää myös Kirkkoselän vedenlaatua.

Maa- ja kallioperä

Pyhäjärven valuma-alueen vallitsevia kivilajeja ovat granodioriitti ja graniitti. Valuma-alueella ei ole runsaita esiintymiä happamuutta aiheuttavia kivilajeja. Pyhäjärven alueen kallioperässä ei ole mustaliusketta, joka on aiheuttanut pohjavesien happamoitumista muun muassa Oulun alueella. Hapan metatuffi juoni Junttiselän itäpuolella saattaa aiheuttaa jossain määrin Junttiselkään valuvien vesien happamoitumista. Kyseinen malmivyöhyke heijastuu myös alueen moreenimaan poikkeaviin metallipitoisuuksiin (mm. Räisänen ym. 1996). Kalsium-magnesiumpitoisuuksien perusteella laskettava puskurointikyky Pyhäjärven valuma-alueella on kohtalaisen huono (Tolkkinen 2007).

Pyhäjärven alueella ei esiinny happamia alunamaita, jotka ovat aiheuttaneet vesistöjen happamoitumista etenkin Pohjanmaan rannikkoalueilla. Alueen maaperän ei ole todettu myöskään olevan erityisen happamoitumisherkkää (Räisänen 1995). Junttiselän valuma-alueen maaperä on hyvin ravinteikasta johtuen moreenin suuresta hienoaines- ja savipitoisuudesta. Turve on moreenin ohella yleisin maalaji Pyhäjärven valuma-alueella. Varsinkin järven pohjoispuolisilla alueilla turvetta esiintyy laajoina alueina, jopa 60% kokonaismaa-alasta. Suot ovat pääosin rahkaturvetta, joka on luontaisesti hapanta. Junttiselän valuma-alueen suot on suurelta osin ojitettu, eikä

luonnontilaisia soita juuri esiinny. Junttiselän itäpuolella on laajoja hienorakeisen aineksen kerrostumia (Tolkkinen 2007).

3.3

Luontoarvot ja kalasto

Pyhäjärven alueen luontoarvoja on kartoitettu viimeksi Pyhäjärven rantojen osayleiskaavan ympäristöselvityksessä (Kekkonen & Korhonen 1999). Junttiselän alueen metsät ovat pääasiassa nuoria ja osa nuorista metsistä on metsitettyä peltoa. Alueelta on löydetty uhanalaiseksi luokiteltavaa keltakurjenmiekkaa Särkijoen ja Kihonlahdelta. Junttiselän vesikasvillisuus on erittäin rehevää ja rantojen kasvillisuusvyöhykkeet selvät. Rantakasvillisuus muodostuu erityyppisistä luhdist. Uloimpana rannasta kasvaa järviruokoa. Ruokoluhta vaihtuu vähitellen maalle päin mentäessä sara- ja ruoholuhdaksi. Maalla saraluhda muuttuu pajuluhdaksi, jonka pensaskerros koostuu pajuisista ja hieskoivusta.

Pyhäjärvellä esiintyvä linnusto on monipuolinen. Pyhäjärvellä ja sen ranta-alueilla pesii noin 100 lajia ja muuttoaikana järvellä esiintyy 154 lajia. Lajisto on keskittynyt erityisesti reheville ja matalille rannoille, kuten Junttiselälle. Junttiselän alueen pohjoinen Niskalanlahti on luokiteltu linnustoltaan merkittäväksi alueeksi (Haakana ym. 1997).

Junttiselän tärkeimpiä saaliskaloja ovat ahven, hauki ja särki. Muikkua ja siikaa saadaan Junttiselältä vähemmän. Tutkimuksen mukaan alle 10 % kalastajista pitää Junttiselkää pääkalastusalueenaan ja koko Pyhäjärven kalansaaliista 5–6 % saadaan Junttiselältä. Pyhäjärvelle on istutettu rapua 1960-luvulla. 1990-luvun alkupuolella rapu nousi muikun ja siian ohella Pyhäjärven taloudellisesti tärkeimmäksi saalislaajiksi. Valtaosa rapusaaliista saatiin Kirkkoselältä, mutta myös Junttiselän rapusaalis oli merkittävä. 1990-luvun lopulla rapukanta kuitenkin romahti koko Pyhäjärvellä. Syytä rapukannan romahtamiseen ei löydetty (Haakana ym. 1997).

3.4

Junttiselän valuma-alue

Junttiselän valuma-alue (122 km²) on varastotilavuuteen nähden suuri. Valuma-alueen suhde varastoivan järvioltaan pinta-alan nähden on 20,1, kun Pyhäjärven muussa osassa suhde on 3,7. Junttiselälle tulee tämän perusteella valumavesiä suhteellisesti suuremmalta alueelta kuin muuhun järvioltaaseen. Junttiselän valuma-alue jakautuu kolmeen osaan: Parkkimajoen valuma-alueeseen (54.059), Särkijoen valuma-alueeseen (54.052) ja Junttiselän lähivaluma-alueeseen.

Junttiselän lähivaluma-alue

Junttiselän lähivaluma-alueen pinta-ala on 29,67 km² ja järvisyys 18,5 %. Alueesta peltoa on noin 11 %. Valuma-alueella asutus sijoittuu lähinnä Junttiselän länsirannalle.

Parkkimajoen valuma-alue

Parkkimajoen valuma-alueen pinta-ala on 64,17 km² ja järvisyys 15,6 %. Suurin osa valuma-alueesta on metsää, peltojen osuus on noin 10 %. Alueen pellot sijoittuvat pääasiassa Parkkimajärven ja Parkkimajoen rannoille. Parkkimajärven vedet laskevat noin 13 km pitkää Parkkimajokea pitkin Junttiselän länsirannalle. Valuma-alueella on kolme pientä lampea: Keltunlampi, Vesalampi ja Vaskilampi. Keltunlampi on toiminut Pyhäjärven taajaman jätevesien lammikkopuhdistamona vuoteen 1985 saakka.

Särkijoen valuma-alue

Särkijoen valuma-alueen pinta-ala on 28,51 km² ja järvisyys 0,53 %. Valuma-alueen keskellä sijaitsee matala ja osittain umpeenkasvanut Särkijärvi, josta vedet virtaavat Särkijokea pitkin Junttiselän itärannalle. Valuma-alue on pääosin metsää ja peltojen osuus on 7 %. Särkijärvi on suurelta osin umpeenkasvanut. Vesiala muodostuu laajemmasta avoimen veden alueesta sekä useista pienistä ruovikon ympäröimistä lampareista. Yhteensä vesipinta-alaa on noin 20 ha. Särkijärvi on erittäin matala maksimisyydyden ollessa vain noin metri. Sillä on merkitystä lähinnä lintujärvenä. Särkijoen valuma-alueella sijaitsee suljettu ja kunnostettu Mullikkorämeen kaivos, joka toimi vuosina 1990–2000.

3.5

Junttiselän valuma-aluetta muuttava toiminta

Pyhäsalmen kaivos ja kaupungin jätevedenpuhdistamo

Pyhäsalmen kaivos (Inmet Mining Oy) sijaitsee Pyhäjärven itärannalla. Kaivos on toiminut alueella 1960-luvun alkupuolelta saakka ja alueella tunnetut malmivarat riittävät nykyisen toiminnan jatkamiseen ainakin vuoteen 2015 asti. Kaivos tuottaa nykyään vuodessa keskimäärin 1,35 milj. tn malmia, josta suurin osa on rikkirikastetta sekä vähäisemmässä määrin kuparia ja sinkkiä. Kaivokselta lasketaan puhdistettuja jätevesiä Tiukupuroa pitkin Junttiselän eteläosaan. Kaivoksen metallikuormitus Junttiselälle on ollut suurimmillaan 1970- ja 1980-luvuilla, nykyisin tilanne on kuitenkin huomattavasti parantunut. Nykyisin kaivoksen jätevesi sisältää runsaasti kalsiumia ja sulfaattia, jotka ovat osin kiintoainesmuodossa kipsinä. Näiden lisäksi kaivoksen jätevedet sisältävät vähäisemmässä määrin nitraattityppeä, rautaa, sinkkiä ja kuparia. Kaivoksen jätevesien pitoisuuksia valvotaan asetettujen lupaehtojen mukaisesti. Junttiselän valuma-alueella sijaitsee myös Mullikkorämeen sinkkiä, kuparia ja lyijyä tuottanut kaivos, joka toimi vuosina 1990–2000. Kaivoksen toiminta on lopetettu ja alue on jälkihoidettu.

Junttiselän pohjoisosan selänteeseen johdetaan myös Pyhäjärven kaupungin jätevedenpuhdistamon vedet. Pyhäjärven kaupungissa viemäröinnin piirissä on noin 4600 asukasta. Kaupungin nykyinen jätevedenpuhdistamo on valmistunut vuonna 1986. Ennen puhdistamon valmistumista jätevedet johdettiin Keltunlampeen, joka toimi lammikkipuhdistamona. Keltunlammesta vedet laskevat Parkkimajoen kautta Junttiselälle. Kaupungin jätevesikuormitus on pääasiassa orgaanista ainesta, tyyppä ja fosforia. Jätevedenpuhdistamon vesiä tarkkaillaan lupaehtojen mukaisesti.

Maa- ja metsätalous

Maatalous on yksi merkittävimmistä Junttiselän ravinnekuormituksen lähteistä. Alueella on peltoa kaikkiaan 915 ha, josta viljelyksessä on 778 ha. Aktiivituloja alueella on 25, joista kotieläimiä on 14 tilalla (Airiola 2000).

Parkkimajoen ja Särkijoen valuma-alueilla on paljon metsää, josta suurin osa on ojitettua. Pohjois-Pohjanmaan metsäkeskuksen ja Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskuksen tietojen mukaan Junttiselän lähivaluma-alueella on metsäojituksia tehty viimeksi 1970-luvulla. Suunnitteilla on ollut ojien kaivu 4–5 kilometrin matkalle Junttiselän itäpuolella. Särkijoen valuma-alueella on tehty viimeisimmät ojitukset 1990-luvun puolivälissä, Parkkimajoen valuma-alueella metsäojituksia on tehty 2000-luvulla. Junttiselän valuma-alueelle on tehty vuonna 2000 ojitussuunnitelma. Suunnitelmaan on sisällytetty hyväksytyt vesiensuojelutoimenpiteet. Ojitusten nykytilasta ja kunnossapidosta Junttiselän valuma-alueella ei ole tietoa.

Haja- ja loma-asutus

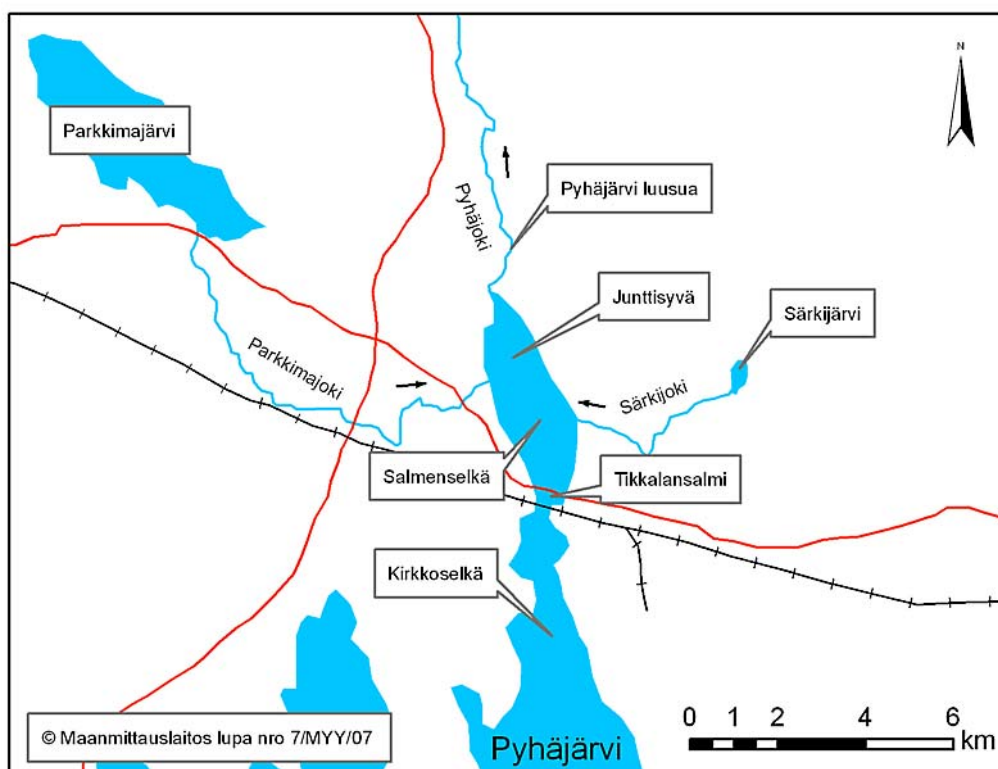
Haja- ja loma-asuntojen määrästä Junttiselän alueella ei ole tarkkaa tietoa. Junttiselän valuma-alueen haja- ja loma-asutuksen määrä on ilmoitettu väestörekisterin (2005) tietojen perusteella. Sen mukaan valuma-alueella on vakituisia asuntoja 173 (vastaa noin 550 asukasta) ja 59 loma-asuntoa. Haja-asutuksen nykyisestä vesienkäsittelyn tasosta ei ole tarkkaa tietoa.

4 Junttiselän vedenlaatutarkastelu

Marja-Leena Heikkinen, Heidi Sunnari ja Susanna Airiola

Junttiselän veden fysikaalis-kemiallista laatua on seurattu vuodesta 1962 alkaen säännöllisesti. Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskus toteutti vuonna 2006 veden laadun intensiiviseurannan huhti-syyskuun välisenä aikana. Intensiiviseurannan havaintopaikat valittiin siten, että niistä oli jo valmiina kattava aineisto vesianalyysijä. Intensiiviseurannassa oli mukana Junttisyvän, Kirkkoselän, Salmenselän, Tikkalansalmen ja Pyhäjärven luusuan havaintopaikat (kuva 3). Näytteitä otettiin toukokuussa viikoittain, kesäkuussa kahden viikon välein sekä loppukesästä neljän viikon välein. Tällöin näytteistä analysoitiin perinteistä seurantaan enemmän suureita, kuten alkuaineita.

Seuraavassa on tarkasteltu veden fysikaalis-kemiallista laatua Junttiselän ja Kirkkoselän eri havaintopisteillä. Junttiselän veden laadun vertailukohteena on käytetty Kirkkoselän vedenlaatuhavaintoja. Kirkkoselälle ei kohdistu merkittävää ulkoista kuormitusta, ja siksi se on hyvä vertailukohde kuormitetulle Junttiselälle. Tarkastelussa on mukana myös Junttiselkään laskevien Parkkima- ja Särkijöesta otettujen vesinäytteiden tuloksia, joiden perusteella on arvioitu valuma-alueelta tulevaa kuormitusta (kuva 3).



Kuva 3. Vedenlaatutarkastelussa mukana olevat havaintopaikat Junttiselän valuma-alueella, Pyhäjärven luusuassa ja Kirkkoselällä.

Junttiselän ja Kirkkoselän vedenlaatu

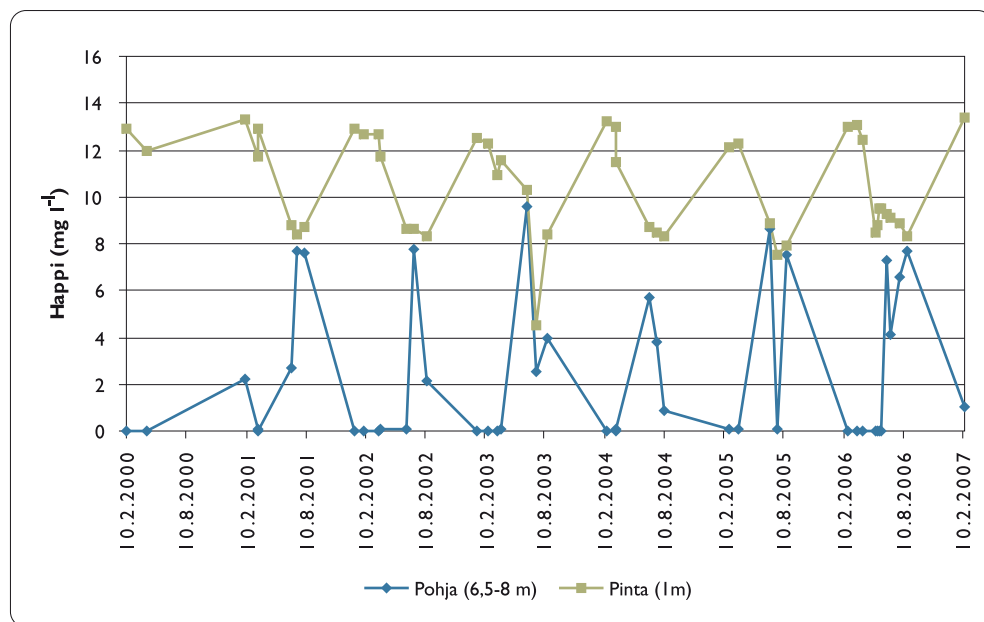
Happitilanne ja rehevyystaso

Junttisyvässä on esiintynyt happikatoa jo 1960-luvulla joinakin vuosina ja se on ajoittunut huhti-toukokuulle (Heinonen & Hongell 1985). 1990- ja 2000-luvuilla happikatoa on esiintynyt joka vuosi (kuva 4). Pintaosassa hapetta sen sijaan on riittänyt talvellakin. Happikadon alku on aikaistunut, nykyään hapettomuutta esiintyy jo tammi-helmikuun aikana ja kestää toukokuulle asti. Kirkkoselän pohjassa täysin hapettomia oloja on ollut harvoin. 2000-luvulla Kirkkoselän pohja ei ole ollut kertaakaan hapettomassa tilassa näytteenottohetkellä.

Pyhäjärven vesi on humuspitoista. Keskimääräinen COD_{Mn} -pitoisuus Junttiselällä ja Kirkkoselällä on noin 10 mg l^{-1} , joka on samaa luokkaa kuin Suomen sisävesien keskimääräisen pitoisuus. Junttiselkä on muuta järveä rehevämpi. Junttiselän vesi on rehevää ja Kirkkoselän vesi puolestaan lievästi rehevää (taulukot 1 ja 2). Taulukkoon 2 on koottu vuosina 1968, 1985 ja 2006 mitattujen ravinnepitoisuuksien keskiarvot touko-syyskuun ajalta Kirkkoselältä, Junttisyvältä ja luusuasta. Pitoisuuksien nousu kertoo rehevöitymiskehityksen nopeutumisesta. Kokonaistypen pitoisuudet ovat lähestulkoon kaksinkertaistuneet 20 vuoden aikana. Myös minimiravinteena olevan fosforin pitoisuudet ovat nousseet.

Junttiselällä ja luusuassa on mitattu korkeita fosforipitoisuuksia erityisesti kevättalvisin. Fosforipitoisuuden nousu liittyy raudan vapautumiseen pohjasta hapettomissa olosuhteissa ja sitä kautta vapautuvaan fosforiin. Korkeita fosforipitoisuuksia on esiintynyt myös loppukesästä.

Vaikka Junttiselkä on rehevä, ei haitallisia leväkukintoja järvellä ole juurikaan esiintynyt (Mikkola & Pakkala 1997). Ympäristöhallinnon levähaittarekisteriin ei ole kirjattu säännöllisiä ja runsaita leväesiintymiä Junttiselältä tai alapuolisesta Pyhäjoesta. 1990-luvun alussa runsaita leväkukintoja Junttiselällä on aiheuttanut pyydyksiä limoittava koristelevä *Hyalotheca dissiliens*. Sinilevähavaintoja Junttiselältä ei ole kuitenkaan tehty. Sen sijaan Junttiselän valuma-alueella sijaitsevasta Parkkimajärvestä on tehty muutamia sinilevähavaintoja (*Anabaena* sp.) 1990- ja 2000-luvuilla.



Kuva 4. Junttisyvän happitilanne pinnassa ja pohjassa 2000-luvulla.

Taulukko 1.
Raja-arvot eri rehevyytasoille Forsberg & Rydingin (1980) mukaan.

Parametrien kesän keskiarvot ($\mu\text{g l}^{-1}$)			
Rehevyytaso	Kok. N	Kok. P	Chl-a
Karu	< 400	< 15	< 3
Lievästi rehevä	400–600	15–25	3–7
Rehevä	600–1500	25–100	7–40
Ylirehevä	> 1500	> 100	> 40

Taulukko 2.
Kesäajan (touko-syyskuu) keskimääräiset ravinnepitoisuudet ($\mu\text{g l}^{-1}$) Kirkkoselällä, Junttisylvällä ja Luusuassa.

		Kok. P	Kok. N	Chl-a	Rehevyytaso
Kirkkoselkä	1968	8,8	560		karu/lievästi rehevä
	1985	11,6	260	4,3	karu/lievästi rehevä
	2006	15,6	509	6,6	lievästi rehevä
Junttisylvä	1968	21,25	600		lievästi rehevä
	1985	24	390	10,2	lievästi rehevä
	2006	31,3	827	12,0	rehevä
Luusua	1968	19	425		lievästi rehevä
	2006	32,9	779	12,0	rehevä

Veden puskurikapasiteetti ja happamuus

Pyhäjärven veden puskurointikyky on reheville järville tyypillisesti hyvä. Vesi- ja ympäristöhallituksen luokittelun (1988) mukaan Junttisylän ja Kirkkoselän veden puskurointikyky voidaan luokitella alkaliniteettiarvojen perusteella hyväksi tai tyydyttäväksi (yli $0,1 \text{ mmol l}^{-1}$). Mitattujen pitoisuuksien perusteella Kirkkoselän alkaliniteettiarvot eivät ole laskeneet alle $0,1 \text{ mmol:n}$ 1970-luvun jälkeen. Sen sijaan Junttisylällä alkaliniteettipitoisuudet ovat laskeneet erityisesti keväisin alhaisiin lukemiin. 2000-luvulla Junttisylällä veden puskurointikyky on huhti-toukokuussa usein kulunut loppuun, mutta palautunut pian normaaleihin lukemiin (kuva 5). Kevääseen ajoittuvat alhaiset alkaliniteettipitoisuudet liittyvät Junttisylän happamuuspiikkeihin.

Airiolan (2000) mukaan happamuus on Junttisylällä lisääntynyt 30 vuoden aikana noin $0,5$ yksikköä. Toukokuussa 2004 Junttisylällä havaittiin poikkeuksellisen alhaisia pH-arvoja. Alimmillaan arvot olivat tuolloin $4,3$. Poikkeuksellinen tila jatkui touko-kesäkuun vaihteeseen, jolloin pH palasi tavanomaiselle tasolle $6-7$. Vuonna 2006 havaittiin myös merkittävä happamuuspiikki toukokuun puolessa välissä, jolloin pH laski alimmillaan tasolle $5,5$. Happamuustaso $4,5-5,0$ on vahingollinen jopa happamuutta hyvin sietäville kalalajeille, kuten ahvenelle, kiiskelle ja hauelle (Rask 1988).

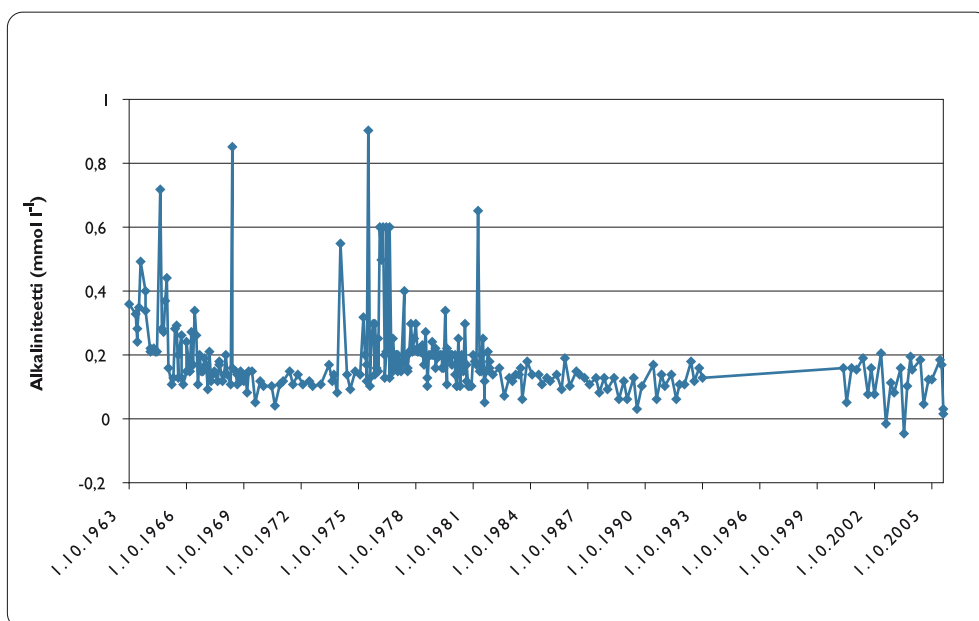
Junttisylässä pH-arvojen trendi on ollut laskeva tarkasteltavalla ajanjaksolla 1963–2006 (kuva 6). Kyseisen ajanjakson pH:n keskiarvo on ollut pohjan lähellä $6,4$ ja pinnassa $6,6$. Pohjan tuntumassa alhaisia pH-arvoja on mitattu erityisesti 1990- ja 2000-luvuilla. Luusuasta mitattujen pH-arvojen keskiarvo (1963–2006) on ollut $6,6$.

Vertailukohteena olevalla Kirkkoselän havaintopisteellä pH:n pitkän ajan keskiarvo (1962–2006) on ollut pohjalla $6,5$ ja pinnalla $6,8$. Kirkkoselällä on esiintynyt alhaisia pH-arvoja 1970-luvulla kevättalvisin pohjan läheisissä kerroksissa. Tuolloin

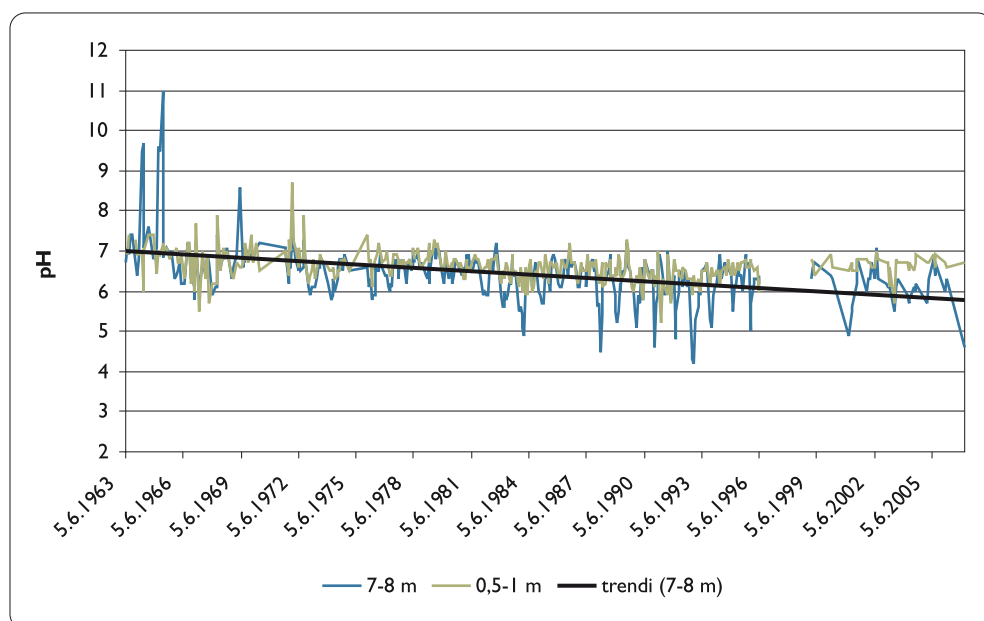
pH on laskenut pohjan läheisissä kerroksissa alle viiden. Myöhemmin Kirkkoselällä ei ole enää esiintynyt alhaisia pH-arvoja, mutta suuntaus 1960-luvulta nykyhetkeen on kuitenkin pH-arvoissa ollut jonkin verran laskeva. 2000-luvulla Kirkkoselän pH-arvot eivät ole pohjassakaan laskeneet alle kuuden.

Sulfaatti

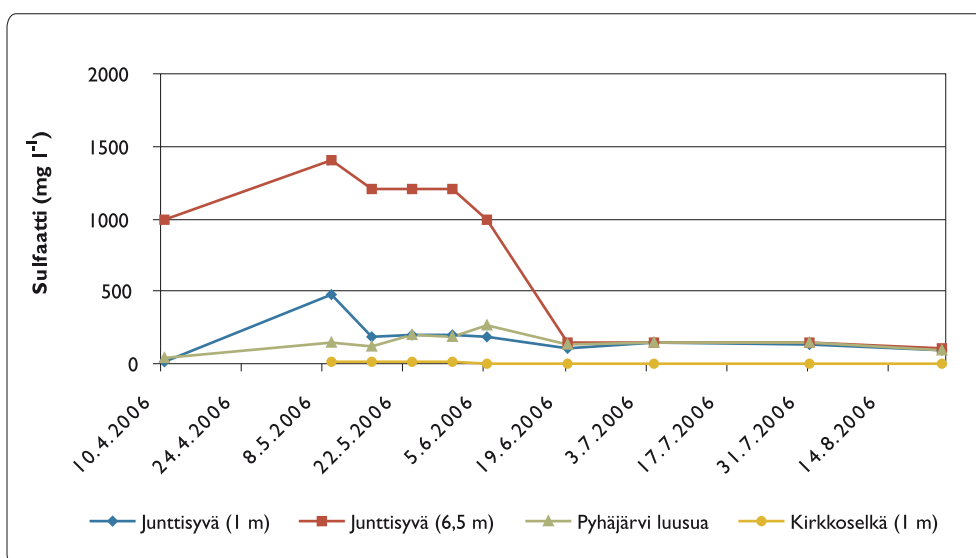
Junttisyvällä ja luusuassa mitatut sulfaattipitoisuudet ovat moninkertaisia Kirkkoselän vastaaviin verrattuna. Junttisyvällä sulfaattipitoisuuksien keskiarvo (2000–2006) on ollut pinnalla 87,4 mg l⁻¹ ja pohjalla 340 mg l⁻¹. Luusuassa vastaava pitoisuus on 106,9 mg l⁻¹. Kirkkoselällä sulfaattipitoisuudet ovat keskimäärin olleet pinnalla 7,7 mg l⁻¹ ja pohjalla 7,9 mg l⁻¹. Kirkkoselän pitoisuustaso on Suomen järville tyypillistä tasoa (Kouvalainen 2007). Junttisyvällä sulfaattipitoisuudet ovat nousseet korkeiksi keväällä ja alkukesällä. Kirkkoselällä vastaavanlaisia pitoisuuspiikkejä ei ole esiintynyt.



Kuva 5. Alkaliniteettipitoisuudet luusuassa vuosina 1963–2006.



Kuva 6. Junttisyvän pH-arvoja vuosilta 1963–2006 syvyyksiltä 0,5–1 m ja 7–8 m.



Kuva 7. Sulfaattipitoisuudet Junttisyvän ja Kirkkoselän havaintopisteillä vuonna 2006 (huhti–elokuu).

Kuvassa 7 on esitetty sulfaattipitoisuuksien vaihtelu eri havaintopisteillä vuonna 2006 (huhti–elokuu). Junttisyvällä sulfaattipitoisuudet ovat nousseet selvästi huhti–toukokuussa. Korkeimmillaan sulfaattipitoisuus on ollut tarkastelujaksolla syvänteen pohjassa toukokuussa 1400 mg l⁻¹. Kirkkoselän sulfaattipitoisuuksissa ei ole havaittavissa selvää kohoamista.

4.2

Junttiselän ja Kirkkoselän alkuainepitoisuudet

Taulukossa 3 on esitetty kesäkuussa 2006 Junttiselästä ja vertailukohteista otettujen vesinäytteiden alkuaineiden keskiarvopitoisuuksia. Junttiselän pintaveden ja pohjan läheisen veden alkuainejakaumalle ovat tunnusomaisia suuret Ca-, S-, Mg-, Na- ja K-pitoisuudet. Näitä alkuaineita on paljon myös kaivoksen jätevedessä, muttei Kirkkoselän vedessä. Junttiselän vedessä on enemmän rautaa, alumiinia ja mangaania kuin kaivoksen jätevedessä tai Kirkkoselältä otetuissa vesinäytteissä. Junttiselän ja Kirkkoselän sinkin ja kuparin pitoisuudet vedessä ovat suhteellisen pieniä (Räisänen & Mäkinen 2007).

Seuraavassa on tarkemmin käsitelty erityisesti niiden alkuaineiden vaihtelua Pyhäjärven eri havaintopisteillä, joiden pitoisuudet ovat vedessä merkittävästi koholla ja joilla on merkitystä kevään happamoitumispiikkien kannalta.

Alumiini

Pyhäjärven luusuasta on tehty alumiinimäärityksiä vuodesta 1985 lähtien. Koko seurantajaksolla alumiinipitoisuudet näyttäisivät pysyneen samalla tasolla. Alumiinipitoisuuksien keskiarvo (1985–2007) on ollut 195 µg l⁻¹. Luusuassa alumiinipitoisuudet ovat koko seurantajaksolla olleet ajoittain korkealla. 1980-luvulla alumiinin pitoisuudet ovat olleet korkeammalla tasolla syksyisin, 2000-luvulla taas korkeamman pitoisuuden piikit esiintyvät keväisin toukokuussa. Korkein alumiinipitoisuus on mitattu toukokuussa 2004, jolloin pitoisuus on ollut luusuassa 489 µg l⁻¹.

Pyhäjärven Pyhäselältä on tehty alumiinimäärityksiä vuosina 1995–2006. Tänä aikana alumiinipitoisuuksien keskiarvo Pyhäselällä on ollut 69 µg l⁻¹. Pyhäselällä ei ole havaittavissa yhtä selkeää alumiinipitoisuuksien keväistä nousua kuin Junttiselällä.

Taulukko 3.

Junttiselän pintaveden (1 m) ja alempien vesikerrosten sekä Kirkkoselän ja Pyhäsalmen kaivoksen jäteveden alkuainepitoisuudet ($\mu\text{g l}^{-1}$) kesäkuussa 2006 otetuissa vesinäytteissä.

Havaintopiste	S	Ca	Mg	Na	K	Fe	Al	Mn	Zn	Cu	Ni
Junttiselkä, pinta (1 m)	54 644	55 944	3 580	4 483	2 193	536	94	177	33	2,7	0,8
Junttiselkä, pohja	67 400	67 725	4 065	4 968	2 440	632	93	222	38	2,6	0,9
Kirkkoselkä	4 548	5 665	1 992	2 367	1 343	132	66	21	23	5,2	0,7
Jätevesi, kaivos	610 000	765 000	12 800	22 600	9 470	50	37	75	38	1,8	7,7

Junttiselän keväisiin happamuuspiikkeihin liittyvät alumiinipitoisuudet ovat olleet huomattavan korkeita. Junttiselällä alumiinipitoisuudet korreloivat selvästi pH:n kanssa ($R^2=0,79$). Mitä pienempi pH, sitä suurempi on alumiinipitoisuus. Alhaisessa pH:ssa alumiini on liukoisessa muodossa ja saostuu kalojen kiduksiin. Kaloille turvallisenä alumiinin raja-arvona pidetään pH-arvon ollessa yli 6,5 alle $100 \mu\text{g l}^{-1}$ ja pH:n ollessa alhaisempi alle $40 \mu\text{g l}^{-1}$ (Ympäristöhallinto 2007). Elorannan (1984) mukaan vedessä olevalla alumiinilla ei ole suurta merkitystä pH-arvon ollessa yli 5,5.

Vuoden 2006 intensiivitarkkailun aikana alumiinipitoisuus on vaihdellut luusuassa $51\text{--}432 \mu\text{g l}^{-1}$, ollen korkeimmillaan toukokuussa (kuva 8). Junttiselän alumiinipitoisuudet ovat kohonneet keskimäärin kymmenkertaisesti huhtikuusta toukokuuhun ja laskenut kesäkuussa ja edelleen syyskuussa. Kirkkoselällä alumiinipitoisuudet ovat olleet huomattavasti alhaisempia kuin Junttiselällä. Tosin myös Kirkkoselällä on havaittavissa keväinen piikki alumiinipitoisuuksissa.

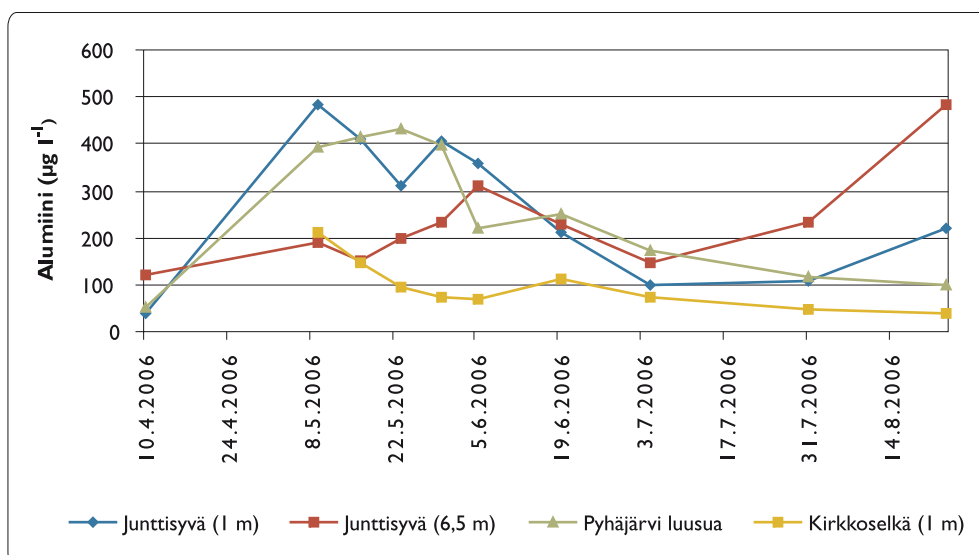
Räisäsen & Mäkisen (2007) mukaan keväällä 2006 liukoisen alumiinin pitoisuudet ovat alkaneet kohota jo jääkannen alla hapettoman ja hapellisen veden rajapinnassa, missä hapekas vesi on käynnistänyt metallien hapettumisen. Voimakkainta alumiinin liukoisuuden kasvu on ollut toukokuun alussa heti kevätkierron jälkeen. Toukokuussa osa alumiinista on ollut vedessä kiintoainekseen sitoutuneena ja osa liukoisena alumiinina, joka on ollut hyvin saostumisherkkää pH:n lähestyessä arvoa viisi ja ollessa viiden yläpuolella.

Rauta

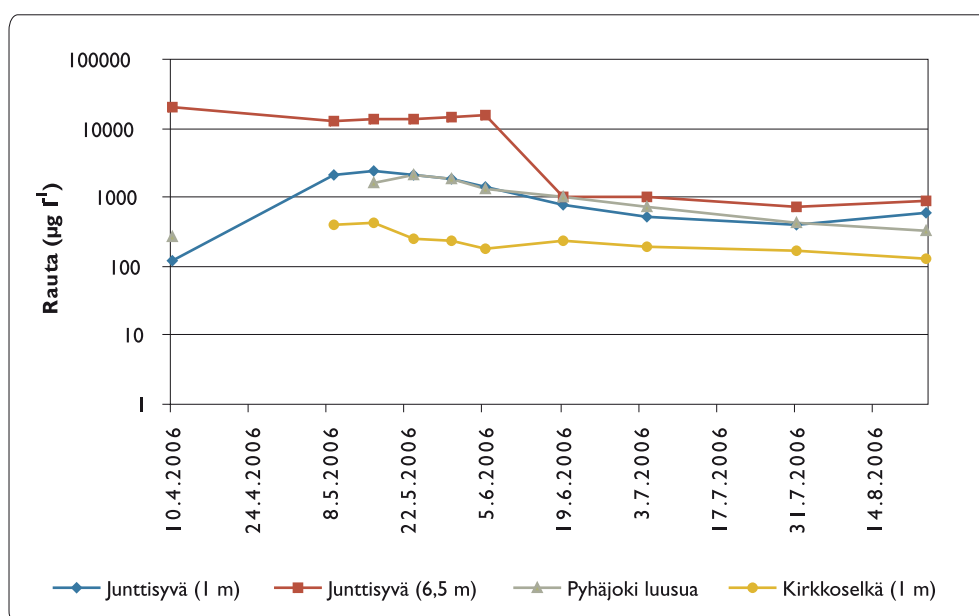
Havaintojaksolla vuosina 1963–2006 veden rautapitoisuuksien keskiarvo Junttisyvän pohjalla on ollut $2947 \mu\text{g l}^{-1}$ ja pinnassa $317 \mu\text{g l}^{-1}$. Seurantajaksolla Junttisyvän rautapitoisuudet ovat nousseet selvästi erityisesti pohjan tuntumassa 2000-luvulle tultaessa. Pohjalla raudan suuria pitoisuuspiikkejä on esiintynyt erityisesti kevättalvella. Huomattavan suuria ($>10\,000 \mu\text{g l}^{-1}$), kevääseen sijoittuvia, rautapitoisuuksia on Junttisyvän havaintopisteessä esiintynyt jo 1980-luvulla. Luusuassa rautapitoisuuksien keskiarvo (1964–2006) on ollut $440 \mu\text{g l}^{-1}$. Tehtyjen havaintojen perusteella rautapitoisuuksien trendi näyttäisi luusuassa olevan loivasti nouseva. Junttiselän veden rautapitoisuudet ovat suuria, sillä Suomen sisävesissä on rautaa keskimäärin $262 \mu\text{g l}^{-1}$ (Särkkä 1996).

Kirkkoselän havaintopisteellä rautapitoisuuksien keskiarvo (1963–2006) on ollut pohjan tuntumassa $477 \mu\text{g l}^{-1}$ ja pinnassa $194 \mu\text{g l}^{-1}$. Kirkkoselän rautapitoisuuksissa ei näyttäisi seurantajaksolla tapahtuneen merkittävää muutosta. Myös Kirkkoselän pohjan tuntumassa on havaittavissa matalia keväisiä raudan pitoisuuspiikkejä.

Kuvassa 9 on esitetty vuoden 2006 seurantajaksolla mitatut rautapitoisuudet. Junttisyvän pohjassa veden rautapitoisuus on vaihdellut $720\text{--}20\,000 \mu\text{g l}^{-1}$, ollen korkeimmillaan huhtikuussa. Kirkkoselän havaintopisteessä rautapitoisuudet ovat olleet huomattavasti alhaisempia, keväällä pitoisuuksissa ei näy merkittävän suurta kohoamista. Korkeimmillaan rautapitoisuus on kohonnut Kirkkoselällä toukokuussa $420 \mu\text{g l}^{-1}$:n. Kaikilla havaintopisteillä rautapitoisuudet ovat olleet korkeimmillaan toukokuussa, kesäkuussa pitoisuudet ovat laskeneet ja lasku on jatkunut edelleen kohti syksyä.



Kuva 8. Alumiinipitoisuudet Junttisjärven ja Kirkkoselän havaintopisteillä vuonna 2006 (huhti-elokuu).



Kuva 9. Rautapitoisuudet Junttisjärven ja Kirkkoselän havaintopisteillä vuonna 2006 (huhti-heinäkuu) (logaritminen asteikko).

Räisäsén & Mäkisen (2007) mukaan vuoden 2006 huhtikuussa Junttisjärven alemmat vesikerrokset ovat sisältäneet runsaasti liukoista rautaa. Huhtikuun raudan liukoiset pitoisuudet ovat pienentyneet puoleen toukokuussa ja kymmenesosaan kesäkuussa. Pintaveden rautapitoisuudet ovat olleet puolestaan suurimmat toukokuussa kevät-kierron aikana. Alemmissa vesikerroksissa liuenneen raudan pitoisuudet ovat olleet keskimäärin $7000 \mu\text{g l}^{-1}$, kun taas pintakerroksissa liukoisen ja saostuneen raudan määrät ovat olleet pieniä (n. $100 \mu\text{g l}^{-1}$). Toukokuussa pintaveden raudan määrä on kasvanut, kun taas alemmien vesikerrosten rautapitoisuudet ovat laskeneet. Toukokuun pintavedessä liuenneen ja saostuneen raudan määrä on ollut lähes sama, mutta alemmissa vesikerroksissa liuenneen raudan määrä on ollut puolet suurempi kuin saostuneen raudan pitoisuus. Kesäkuussa sekä pinnassa että alemmissa vesikerroksissa on ollut lähes sama määrä liuennutta ja saostunutta rautaa. Raudan liukeneminen ja saostuminen ovat seuranneet veden happipitoisuuden ja hapetus-pelkistyspoten-

tiaalin muutosta. Raudan liukeneminen on ollut suurinta vähähappisissa ja osittain pelkistävissä kerroksissa, kun taas raudan uudelleen saostumista on tapahtunut hapettuneissa vesikerroksissa, jotka ovat tämän seurauksena happamoituneet.

Mangaani

Luusuassa keskimääräinen mangaanipitoisuus vuosina 1964–2006 on ollut noin $110 \mu\text{g l}^{-1}$. Pitoisuuksissa ei ole tapahtunut havaintojaksolla merkittäviä muutoksia. Korkeimmat mangaanipitoisuudet ovat esiintyneet keväisin toukokuussa. Kirkkoselän pohjalla keskimääräinen pitoisuus koko havaintojaksolla (1964–2006) on ollut $699 \mu\text{g l}^{-1}$ ja pintavedessä $29 \mu\text{g l}^{-1}$.

Vuoden 2006 seurantajakson (huhti–syyskuu) perusteella mangaanipitoisuudet ovat vaihdelleet Junttisylvällä $25\text{--}328 \mu\text{g l}^{-1}$, pohjan tuntumassa pitoisuudet ovat olleet suurimpia. Mangaanipitoisuuksissa on havaittavissa selkeä pitoisuuden nousu huhti–toukokuussa kaikilla havaintopisteillä. Suurin mitattu mangaanipitoisuus vuonna 2006 tehdyissä mittauksissa on ollut Junttisylällä huhtikuussa $328 \mu\text{g l}^{-1}$ ja Kirkkoselällä huhtikuussa $2689 \mu\text{g l}^{-1}$. Kesäkuusta syyskuulle mangaanin pitoisuudet ovat pienentyneet alle $50 \mu\text{g l}^{-1}$ kaikilla havaintopisteillä. Räisänen & Mäkisen (2007) mukaan mangaanin liukoiset pitoisuudet ovat seuranneet osittain rautapitoisuuksien kasvua niissä kerroksissa, jotka ovat olleet vähähappisia, kun taas happipitoisissa ja happamassa vesikerroksessa mangaanin hapettumis- ja saostumisreaktiot eivät ole käynnistyneet.

Sinkki

Sinkistä on tehty määrittäisiä luusuasta vuodesta 1976 lähtien. Määritettyjen pitoisuuksien keskiarvo luusuan vedessä on ollut $13 \mu\text{g l}^{-1}$. Luusuassa pitoisuudet ovat nousseet loivasti 2000-luvulle tultaessa. Pitoisuuspiikit ovat ajoittuneet lähinnä keskikesälle. Suurin mitattu sinkkipitoisuus on vuoden 2003 heinäkuulta $98 \mu\text{g l}^{-1}$.

Junttisylvällä sinkin keskiarvopitoisuudet ovat vaihdelleet vuonna 2006 otetuissa näytteissä (huhti–syyskuu) välillä $6\text{--}50 \mu\text{g l}^{-1}$, pohjan tuntumassa pitoisuudet ovat olleet hieman korkeampia. Kirkkoselällä sinkin pitoisuudet ovat olleet alhaisimpia. Kaikissa havaintopisteissä, myös Kirkkoselällä, on havaittavissa touko–kesäkuulle sijoittuva pitoisuuksien kohoaminen. Sinkin pitoisuuksien kasvu huhtikuusta toukokuuhun näyttäisi seuranneen veden happamuuden kasvua ja alumiinipitoisuuden kasvua (Räisänen & Mäkinen 2007).

Kaupin ym. (1990) mukaan Keski- ja Pohjois-Suomen järvien keskimääräinen sinkkipitoisuus on $2,5 \mu\text{g l}^{-1}$. Tähän verrattaessa Junttisylän ja Kirkkoselän veden sinkkipitoisuudet ovat suuria. Naturvårdsverketin (1999) esittämän ruotsalaiseen aineistoon pohjautuvan luokittelun perusteella sinkin pitoisuudet ovat Junttisylän ja Kirkkoselän vedessä yleensä alhaisia tai kohtalaisia ($5\text{--}20 \mu\text{g l}^{-1}$). Tällä pitoisuustasolla biologisten vaikutusten riski on melko pieni. Touko–kesäkuussa Junttisylän sinkin pitoisuudet nousevat hetkellisesti korkeiksi, jolloin biologisten vaikutusten riski nousee.

Kupari

Luusuan kuparipitoisuuksien keskimääräinen pitoisuus (1976–2006) on ollut $7,4 \mu\text{g l}^{-1}$. Pitoisuuksissa ei ole juurikaan tapahtunut muutoksia koko havaintojaksolla. Pitoisuuspiikkejä on esiintynyt lähinnä kevättalvesta ja kesäisin. Suurin kuparipitoisuus $26 \mu\text{g l}^{-1}$ on mitattu luusuasta vuoden 2003 kesäkuussa.

Vuoden 2006 suurin mitattu kuparipitoisuus on ollut Tikkalansalmessa $3,7 \mu\text{g l}^{-1}$ ja Kirkkoselällä $5,2 \mu\text{g l}^{-1}$. Junttisylän veden kuparipitoisuudet ovat suurempia verrattuna Keski- ja Pohjois-Suomen järvivesien keskimääräiseen pitoisuuteen ($0,43 \mu\text{g l}^{-1}$). Naturvårdsverketin (1999) esittämän luokituksen mukaan kuparin pitoisuudet Junttisylällä ovat kohtalaisia ($3\text{--}9 \mu\text{g l}^{-1}$). Kuparipitoisuuksien ollessa näin alhaisia, ei niillä pitäisi olla vaikutuksia vesieliöstölle (Sutela & Siira 2005).

Parkkima- ja Särkijokien veden laatu

Happamuus ja veden puskurikapasiteetti

Parkkima- ja Särkijokien vedet eivät ole erityisen happamia. Tehtyjen vedenlaatu-havaintojen perusteella jokien veden pH on vaihdellut 6–7 välillä. Kevään ylivirtaamakaudella huhti-toukokuussa jokien veden pH laskee alle kuuden, mutta palautuu pian normaalille tasolle lähelle neutraalia. Alimmillaan pH on ollut tehtyjen havaintojen perusteella huhtikuussa 2001, jolloin se on laskenut Parkkimajoessa tasolle 5,5 ja Särkijoessa tasolle 5,7.

Parkkima- ja Särkijoen puskurointikyky on alkaliniteettiarvojen perusteella hyvä (yli 0,1 mmol l⁻¹). Puskurointikyvyn aleneminen yleensä huhtikuussa on seurausta keväisistä happamoitumispiikeistä.

Alkuainepitoisuudet

Parkkima- tai Särkijoen vedestä ei ole aikaisemmin tehty alkuainemääryityksiä. Vuoden 2006 intensiiviseurannan yhteydessä myös jokivesistä tehtiin kesäkuulta alkuainemääryityksiä. Tulosten perusteella Junttiselkään laskee Parkkima- ja Särkijoista pitoisuudeltaan runsaasti rautaa ja alumiinia sisältäviä vesiä. Myös pitkän ajan vedenlaatusuurannan perusteella jokivedet näyttäisivät sisältävän runsaasti rautaa. Muutoin jokien alkuainejakauma on samantyyppinen kuin Junttiselän pintaveden alkuainejakauma (taulukko 4). Poikkeavia ovat Junttiselän suurehkot kalsium- ja rikki-pitoisuudet ja jokivesien kohonneet mangaani- ja sinkkipitoisuudet. Tulosten perusteella Särkijoesta näyttäisi laskevan runsaasti sinkkiä ja alumiinia sisältäviä vesiä Junttiselkään. Särkijoen sinkkipitoisuus on ollut lähes kaksinkertainen verrattuna vastaavan ajankohdan kaivoksen jäteveden sinkkipitoisuuteen (Räisänen & Mäkinen 2007). Parkkima- ja Särkijoen veden alkuainepitoisuuksien tarkastelu perustuu kuitenkin vain yhteen näytteenottoon, joten pitkälle meneviä johtopäätöksiä ei tämän perusteella voida tehdä.

Parkkimajoen ravinnepitoisuudet

Pyhäjärven kunnan vanhan viemärlaitoksen jätevedet on johdettu ennen nykyisen puhdistamon rakentamista (1986) Keltunlammen lammikkopuhdistamon kautta Parkkimajoeen. Vanhan viemärlaitoksen toiminta-aikana ravinnepitoisuudet Parkkimajoessa ovat olleet moninkertaisia verrattuna nykyisiin pitoisuuksiin. Parkkimajoen suulla keskimääräinen kokonaisfosforipitoisuus uuden jätevedenpuhdistamon rakentamisen jälkeen on ollut 54 µg l⁻¹ ja keskimääräinen kokonaistyyppipitoisuus 870 µg l⁻¹.

Keväällä ja kesällä 2000 on otettu vesinäytteitä Parkkimajoen eri pisteistä ja tulokset veden kokonaisfosfori- ja tyyppipitoisuuksista eri ajankohtina on esitetty kuvissa 10 ja 11. Vertailuna on esitetty myös Junttiselältä lähtevän veden sekä Junttiselälle tulevan veden (Kirkkoselkä) kokonaisfosfori- ja kokonaistyyppipitoisuuden keskiarvot. Yli-

Taulukko 4.

Parkkima- ja Särkijoen alkuainepitoisuudet (µg l⁻¹) kesäkuussa 2006. Vertailuarvoina on esitetty Junttiselän alkuainepitoisuudet samalta ajalta.

Havaintopiste	S	Ca	Mg	Na	K	Fe	Al	Mn	Zn	Cu	Ni
Junttiselkä, pinta (1 m)	54 644	55 944	3 580	4 483	2 193	536	94	177	33	2,7	0,8
Parkkimajoki	1 460	4 180	2 140	4 420	1 740	503	123	33	3,4	1,4	0,6
Särkijoki	2 250	5 550	2 060	2 250	850	1 080	268	44	69	1,4	1,3

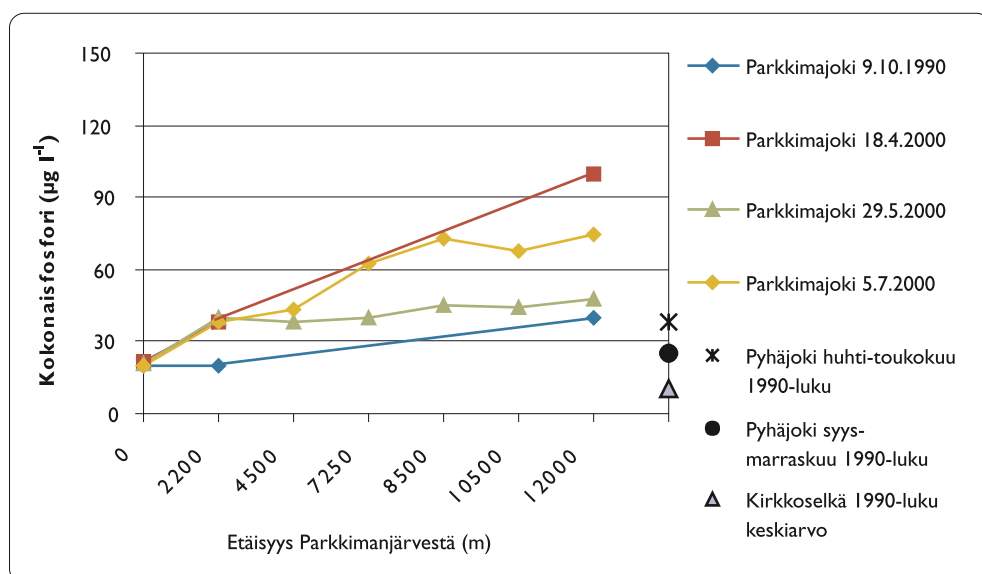
virtaama-aikana joen fosfori- ja typpipitoisuudet ovat olleet erittäin korkeita. Ylivirtaama-aikana huhtikuussa sekä kesällä sadejakson jälkeen suurin fosforipitoisuuden nousu on tapahtunut Parkkimajoen yläosalla, jossa on runsaasti viljelysmaita. Fosforipitoisuus Parkkimajoen suulla on ollut huomattavasti korkeampi kuin Kirkkoselältä Junttiselälle tulevan veden fosforipitoisuus ja myös korkeampi kuin Junttiselältä lähtevän veden fosforipitoisuus. Parkkimajoen ja Junttiselän typpipitoisuudet eivät huomattavasti poikkea toisistaan lukuun ottamatta kevään ylivirtaama-ajan korkeita pitoisuuksia joessa.

Keltunlampi

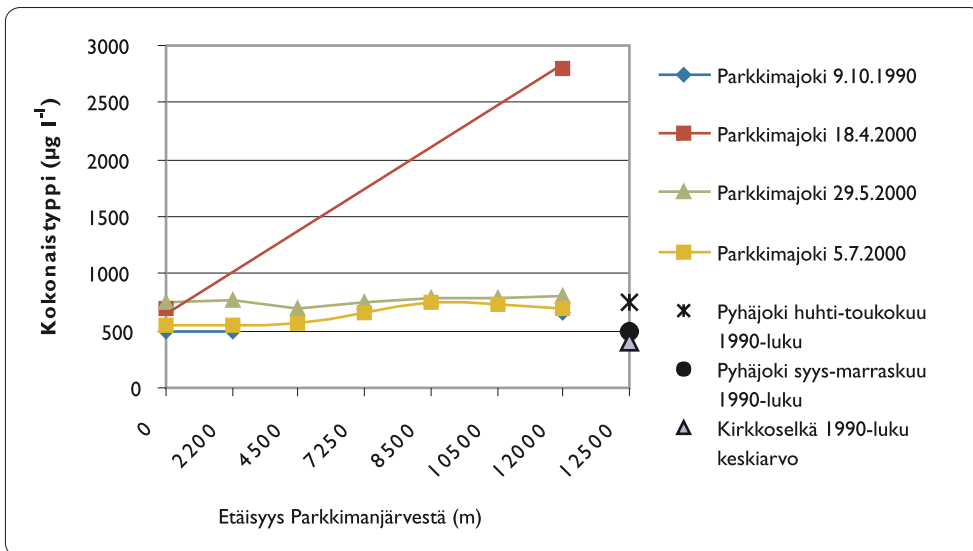
Parkkimajoen valuma-alueella sijaitseva Keltunlampi on vuoteen 1986 asti toiminut Pyhäjärven kaupungin jätevesien lammikkopuhdistamona. Keltunlammen ravinnepitoisuudet ovat huomattavan korkeita, 2000-luvulla mitattujen kesäaikaisten ravinnepitoisuuksien keskiarvo kokonaisfosforilla on ollut $88 \mu\text{g l}^{-1}$ ja kokonaistypellä $1243 \mu\text{g l}^{-1}$. Keltunlampi on tämän perusteella edelleen merkittävä Parkkimajoen ja sitä kautta Junttiselän ravinnekuormittaja.

Särkijoen ravinnepitoisuudet

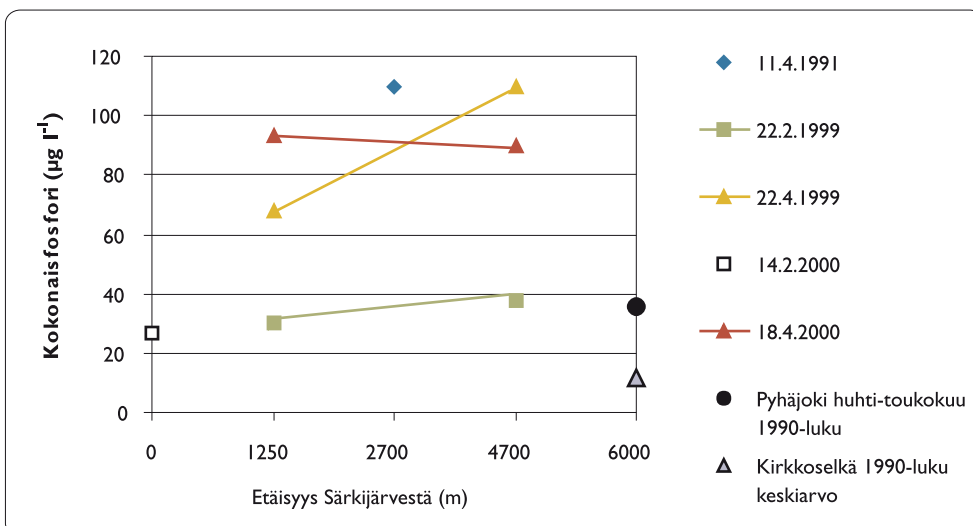
Särkijoen ravinnepitoisuudet ovat Parkkimajoen tapaan korkeita. Kuviissa 12 ja 13 on esitetty Särkijoen ylä- ja alaosan kokonaisfosfori ja -typpipitoisuudet vuosilta 1999 ja 2000 sekä vertailuarvoina Kirkkoselän ja Pyhäjokeen laskevien vesien pitoisuuksien keskiarvoja. Fosforipitoisuus ei ole juurikaan noussut Särkijoen yläjuoksun ja alajuoksun välillä helmikuussa 1999 ja huhtikuussa 2000 (18.4.) tehtyjen havaintojen aikana. 22.4.1999 tehdyissä havainnoissa fosforipitoisuus on noussut havaintovälillä lähes kaksinkertaiseksi. Kevään ylivirtaamakaudella Särkijosta tulevat ravinnepitoisuudet ovat olleet huomattavan korkeita verrattuna Junttiselältä vastaavana aikana lähteviin pitoisuuksiin. Kirkkoselän 1990-luvun keskiarvoiseen pitoisuuteen verrattaessa Särkijoen ravinnepitoisuudet ovat selvästi korkeampia.



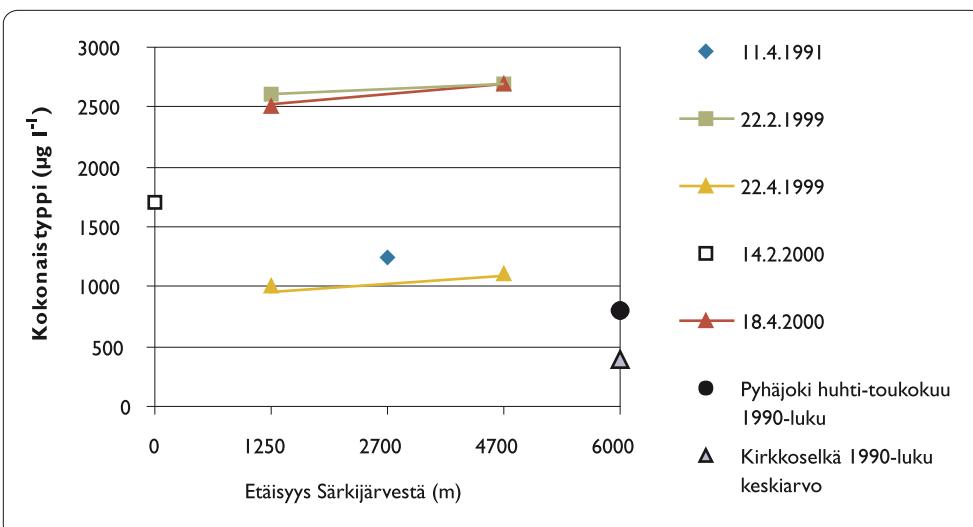
Kuva 10. Parkkimajoen kokonaisfosforipitoisuus neljänä eri mittauspäivänä vuosina 1990 ja 2000 joen eri pisteissä. Vertailuna on esitetty myös Junttiselältä lähtevän veden (Pyhäjärvi luusua) sekä Junttiselälle tulevan veden (Kirkkoselkä) kokonaisfosforipitoisuuden keskiarvot.



Kuva 11. Parkkimanjoen kokonaistypippitoisuus neljänä eri mittauspäivänä vuosina 1990 ja 2000 joen eri pisteissä. Vertailuna on esitetty myös Junttiseltä lähtevän veden (Pyhäjärvi luusua) sekä Junttiselle tulevan veden (Kirkkoselkä) kokonaistypipitoisuuden keskiarvot.



Kuva 12. Särkijoen kokonaistypippitoisuus vuosina 1991, 1999 ja 2000 joen eri pisteissä. Vertailuna on esitetty Junttiseltä lähtevän veden sekä Kirkkoselän kokonaistypipitoisuuksia.



Kuva 13. Särkijoen kokonaistypippitoisuus vuosina 1991, 1999 ja 2000 joen eri pisteissä. Vertailuna on esitetty Junttiseltä lähtevän veden sekä Kirkkoselän kokonaistypipitoisuuksia.

Yhteenveto

Junttiselkä on muuta Pyhäjärveä rehevämpi. Ravinnetarkastelun perusteella Junttiselkä on muuttunut 1960-luvulta 2000-luvulle lievästi rehevästä järvestä reheväksi. Rehevöitymisen myötä talvikuukausina 1990- ja 2000-luvuilla Junttiselällä on esiintynyt pohjan tuntumassa hapettomuutta vuosittain. Rehevöitymisen lisäksi Junttiselkä on muuttunut happamammaksi, viimeisen 30 vuoden aikana keskimääräinen happamuustaso Junttiselällä on lisääntynyt 0,5 pH-yksikköä. Myös eri metallien pitoisuuksissa on havaittavissa lievää nousua pitkällä aikavälillä tarkasteltuna. Erityistä huolestuneisuutta ovat aiheuttaneet Junttiselän keväiset happamuuspiikit. Kirkkoselällä vastaavanlaisia keväisiä happamuuspiikkejä ei ole esiintynyt. Kirkkoselkä on lievästi rehevä ja happikatoa esiintyy harvoin.

Junttiselän veden rauta-, alumiini- ja mangaanipitoisuudet ovat Kirkkoselkää huomattavasti suurempia. Myös Junttiselän sulfaatti- ja kalsiumpitoisuudet ovat moninkertaisia Kirkkoselkään verrattuna. Junttiselän suuret sulfaatti- ja kalsiumpitoisuudet ovat seurausta kaivokselta johdettavasta jätevedestä. Sinkin ja kuparin pitoisuudet Junttiselän ja Kirkkoselän vedessä eivät ole huomattavan suuria.

Junttiselän veden kemiallinen tila vaihtelee vuodenaikojen mukaan voimakkaasti. Talvikuukausina alusvesi menee hapettomaksi, minkä seurauksena veden rauta- ja mangaanipitoisuudet nousevat suuriksi avovesikauden pitoisuuksiin verrattuna. Myös sulfaattipitoisuuksissa on havaittavissa selvä kohoaminen keväisin. Kevään suuret alumiinipitoisuudet ovat seurausta pH:n laskusta, jolloin alumiinia pääsee liukenemaan veteen. Alumiinia on ajoittain keväisin ollut Junttiselän vedessä eliöstölle haitallisina pitoisuuksina. Sinkin ja kuparin pitoisuudet eivät ole kohonneet merkittävästi keväisin. Kirkkoselällä vastaavanlaista huomattavan suurta keväistä sulfaatti- ja metallipitoisuuksien nousua ei ole havaittavissa.

Junttiselkään laskee Parkkimajoesta ja Särkijoesta runsaasti ravinteita sekä kiintoainetta sisältäviä valumavesiä. Jokivesien happamuustaso on suomalaisille virtavesille tyypillinen. Kevään ylivirtaama-aikana jokivesien pH laskee hetkellisesti alla kauden. Vuonna 2006 tehtyjen määritysten perusteella Junttiselkään laskee Parkkima- ja Särkijoesta runsaasti rautaa ja alumiinia sisältäviä vesiä. Huomionarvoista on myös Särkijoesta määritetty suuri sinkkipitoisuus. Muutoin jokien alkuainejakauma on samantyyppinen kuin Junttiselän veden alkuainejakauma. Jokivesistä on tehty melko vähän vedenlaatuanalyysyjä, joten pitkälle meneviä johtopäätöksiä jokien kuormittavuudesta ei voida tehdä.

5 Junttiselän sedimenttitutkimukset

Jari Mäkinen, Marja Liisa Räisänen, Mikko Tolkkinen ja Marja-Leena Heikkinen

5.1

Junttiselän ja Kirkkoselän järvisedimenttisarjojen kemiallinen koostumus

Pyhäjärven sedimentin kemiallista koostumusta selvitettiin maaliskuussa 2006 otettujen sedimenttinäytteiden (GTK) perusteella. Pitkiä (noin 1 m) sedimenttiprofiileja otettiin eri näytepisteistä (kuva 14). Sedimenttisarjat jaettiin kolmeen osaan: kaivostoiminnan kontaminoima osa (ylin), luontainen osa (alin) ja niiden välinen osa (keskellä), jossa näkyy alkava ihmistoiminta sedimentin vähittäisenä koostumusmuutoksena. Ylin osa rajattiin sedimentin pintaosasta syvyyteen, jossa Cu- ja Zn-pitoisuudet kasvoivat äkillisesti (9–21 cm). Luonnontilainen osa rajattiin yli 49 cm syvyydelle Pb-pitoisuuden perusteella. Lisäksi käytettävissä on ollut GTK:n Pyhäjärvestä ottama sedimenttinäytesarja vuodelta 1999 (Pyhäjärvi PJ). Tulokset on esitetty taulukoissa 5 ja 6. Näiden aineistojen avulla on kuvattu Pyhäjärven ja Junttiselän sedimentin koostumusmuutoksia ulottuen nykyajasta luonnontilaiseen ajanjaksoon.

Taulukko 5.

Junttiselän ja Pyhäjärven (Pyhäsalmi 3,4 ja PJ) sedimenttikerrosten alumiinin, raudan, mangaanin, kromin, rikin ja sulfidisten metallien (As, Cd, Co, Cu, Ni, Pb, Zn) keskiarvopitoisuudet. Alumiini- ja rautapitoisuudet on merkitty kuivapaino- % yksikköinä, muiden metallien ja rikin pitoisuudet mg kg⁻¹. Keskikokoisten järvien keskiarvopitoisuudet Suomessa (Suomi) on otettu GTK:n valtakunnallisesta järvisedimenttiaineistosta (Mäkinen & Pajunen 2005).

	Syvyys cm	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	S	Zn
Junttiselkä	0–21	2,9	13	0,35	18	60	146	5,1	444	26	30	6 127	481
Junttiselkä	21–40	2,7	7	0,20	19	52	25	5,0	690	22	18	3 071	134
Junttiselkä	49–100	2,8	7	0,20	17	52	19	5,5	985	21	7	1 212	149
Pyhäjärvi													
Pyhäsalmi 3,4	0–11	2,9	22	0,98	23	59	167	6,6	1 727	28	58	3 088	759
Pyhäsalmi 3,4	21–40	2,6	19	0,20	24	53	24	6,8	1 212	24	24	1 680	175
Pyhäsalmi 3,4	49–108	2,7	17	0,20	20	51	20	6,9	1 048	22	6	1 178	157
Pyhäjärvi PJ	40–100	2,3	5		12	52	36	2,7	749	26	7	859	123
Suomi ¹⁾		2,2	8 ²⁾		15	46	25	6,2	2 100	20	7 ³⁾	2 062	115

¹⁾ Mäkinen & Pajunen 2005

²⁾ Mäkinen 2004

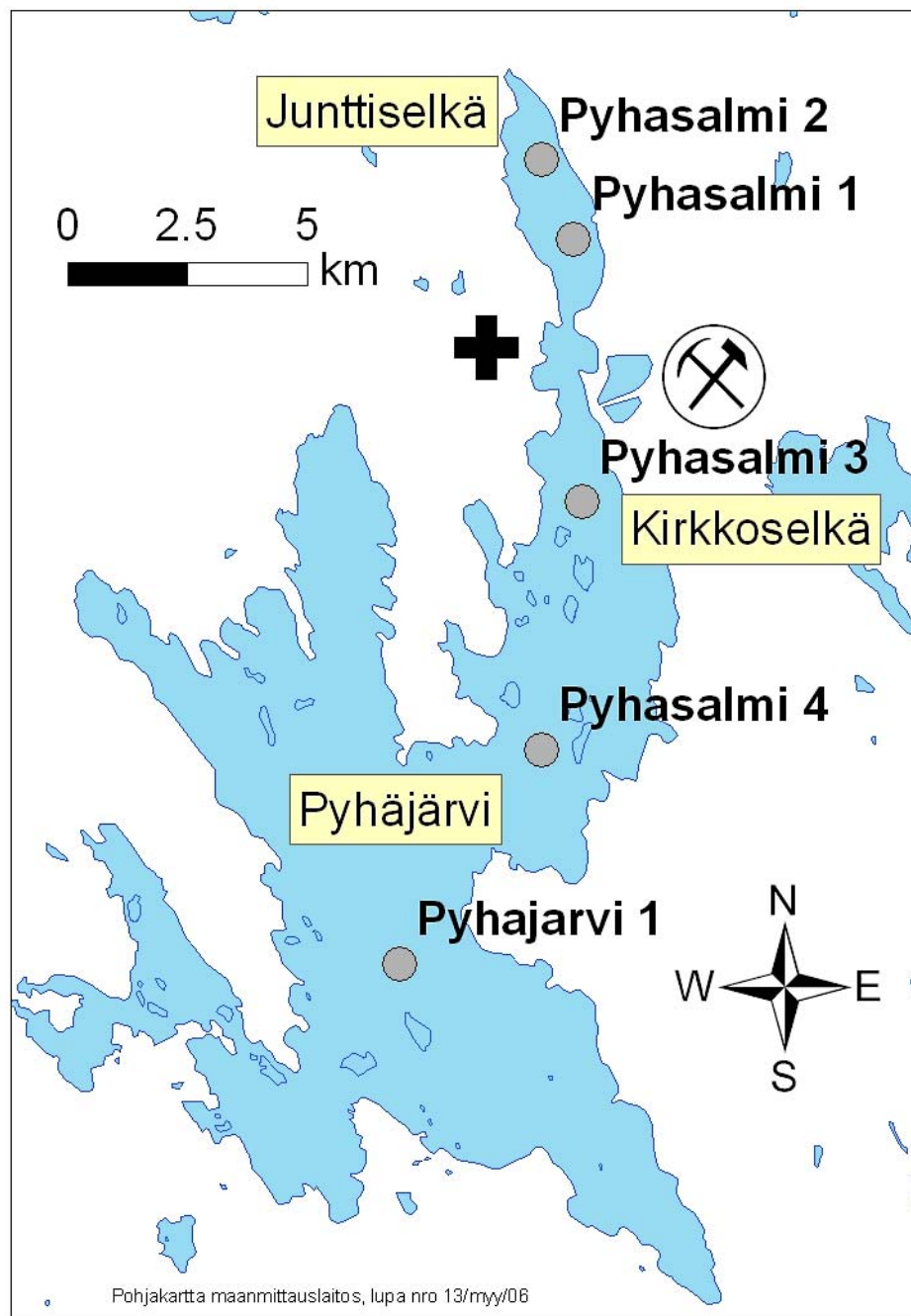
³⁾ Mäkinen 2003

Taulukko 6.

Junttiselän ja Pyhäjärven (Pyhäsalmi 3, 4 ja PJ) sedimenttien Ca-, K-, Mg-, Na-, P-, C- ja N-keskiarvopitoisuudet sekä C/N- suhde. Pitoisuusyksikkönä on mg kg⁻¹, C ja N- pitoisuudet on ilmoitettu kuivapaino-% yksikkönä. Keskikokoisten järvien keskiarvopitoisuudet Suomessa (Suomi) on otettu GTK:n valtakunnallisesta järvisedimenttiaineistosta (Mäkinen & Pajunen 2005).

	Syvyys cm	Ca	K	Mg	Na	P	C	N	C/N
Junttiselkä	0–21	11 412	5 221	8 067	454	1 641	6,7	0,6	10,8
Junttiselkä	21–40	8 453	4 587	6 816	276	1 401	6,6	0,6	12,0
Junttiselkä	49–100	5 045	3 655	5 387	269	2 425	6,8	0,6	11,4
Pyhäsalmi 3,4	0–11	5 284	4 445	6 573	310	1 439	7,6	0,7	10,8
Pyhäsalmi 3,4	11–40	4 673	3 309	5 125	340	1 639	9,1	0,7	12,5
Pyhäsalmi 3,4	49–108	4 096	3 040	4 812	302	2 368	7,9	0,6	12,6
Pyhäjärvi	40–100	5 350	4 010	7 180	449	976	4,8	0,6	7,7
Suomi ¹⁾		4 700	2 600	4 500	300	1 656	10,9	0,9	10,5

¹⁾ Mäkinen & Pajunen 2005



Kuva 14. Pyhäjärven pitkien sedimenttiprofilien näytepisteet maaliskuussa 2006 (Räisänen & Mäkinen 2007).

Luonnontilaisten sedimenttikerrosten koostumus

Pyhäjärven luonnontilaiset sedimenttikerrokset (49–100 cm) ovat geokemialliselta koostumukseltaan samankaltaisia verrattuna Suomen järvisedimenttiaineistoon (taulukot 5 ja 6). Ainoastaan Mn-, S- sekä C- ja N- pitoisuudet ovat Pyhäjärvellä keskimääräistä hieman alhaisempia. Sedimenttien Cu- ja Zn- pitoisuudet koko Pyhäjärven alueella eivät ole poikkeavan suuria.

Varhaisen ihmistoiminnan vaikutus järvisedimentin koostumukseen

Luonnontilaisten kerrosten jälkeen ihmistoiminta näkyy sedimenteissä joidenkin alkuainepitoisuuksien kohoamisena (21–40 cm) (taulukot 5 ja 6). Metalleista Pb-pitoisuuksien kohoaminen on merkittävintä ja sitä voidaan pitää yleisesti teollisen aikakauden indikaattorina (Hakala & Salonen 2004). S-pitoisuus kohoaa Junttisellä enemmän kuin Pyhäjärvestä. Tähän ajankohtaan liittyy myös Ca-, K- ja Mg-pitoisuuksien kohoaminen, mikä ilmeisesti liittyy lisääntyneeseen maanmuokkaukseen ja metsätalouteen. Vesistön tilaan herkästi reagoivan Mn:n pitoisuudet laskevat Junttisellä jo ennen kaivostoimintaa, kun taas Pyhäjärven alueella Mn-pitoisuuksissa ei tapahdu muutoksia. Suurimmat C-pitoisuudet liittyvät myös tähän ajanjaksoon. Lähes kaikissa profiileissa C-pitoisuus alenee äkillisesti ennen kaivostoiminnan aiheuttamaa metallikuormitusta sedimenteissä. Tämä liittyy todennäköisesti 1930-luvulla tehtyyn vedenpinnan alentamiseen.

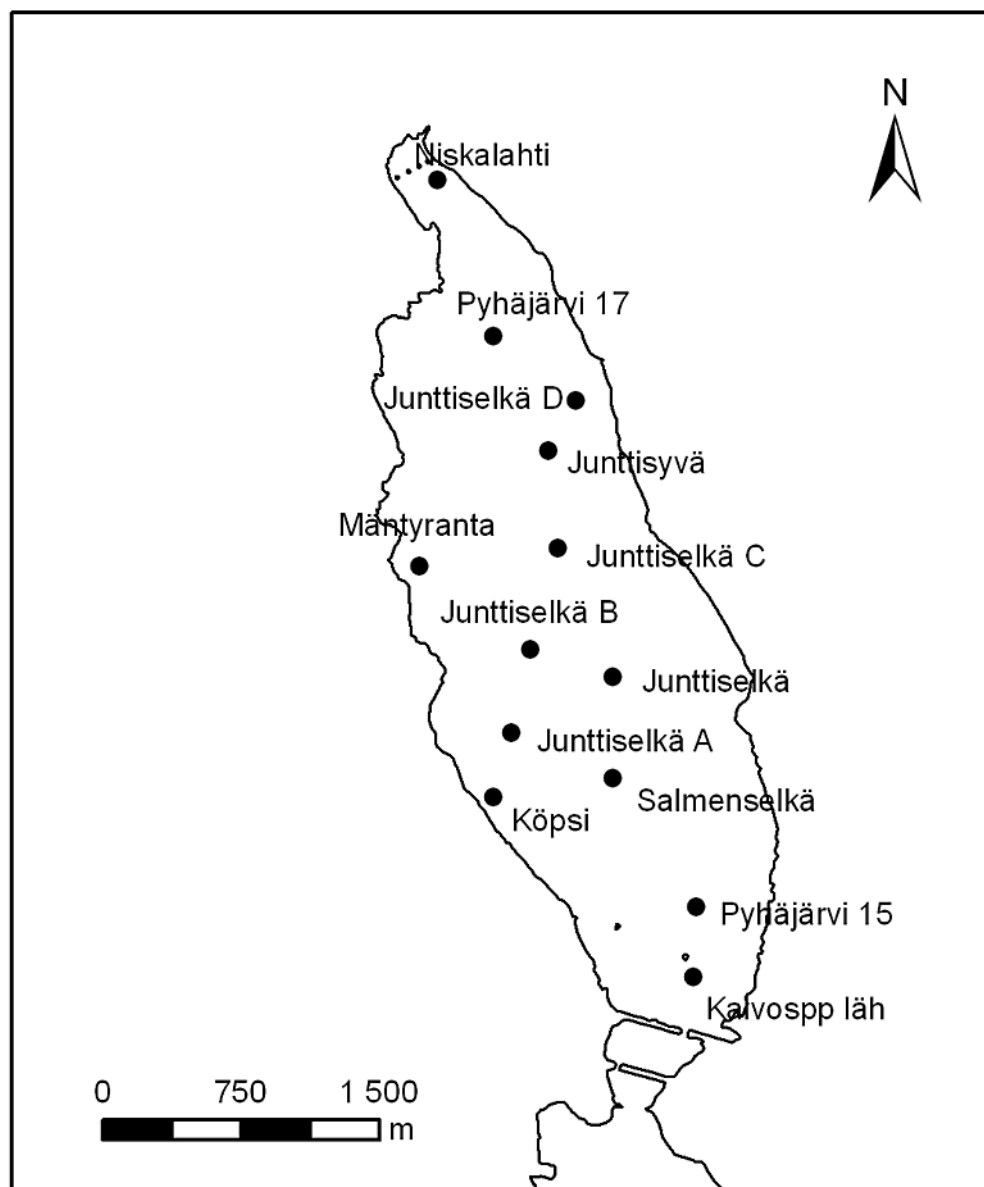
Kaivostoiminnan vaikutus järvisedimentin koostumukseen

Kaivostoiminta näkyy Pyhäjärven sedimenteissä merkittävästi vain Cu-, Zn-, ja S-pitoisuuksissa (taulukot 5 ja 6). Suurimmillaan kaivokselta tullut kuormitus on ollut 1960–1980-lukujen aikana. Kaivostoiminnan vaikutukset näkyvät Junttisellä ja Kirkkoselällä eri tavalla. Suurimmat S-pitoisuudet ovat Junttisellä, kun taas suurimmat Cu- ja Zn-pitoisuudet ovat Kirkkoselällä. Kirkkoselällä Mn-pitoisuus on pysynyt vakiona, kun taas Junttisellä Mn-pitoisuudet ovat huomattavan paljon pienempiä sedimentin pintaosassa. Tämä viittaa siihen, että Kirkkoselällä kaivostoiminta ei todennäköisesti ole vaikuttanut metallien liukoisuuteen. Todennäköisesti sulfidinmuodostukseen liittyvät reaktiot ovat Junttisellä vähentäneet Mn-pitoisuutta. Kaivosalueelta tuleva kipsikuormitus on lisännyt sedimentin Ca- ja S-pitoisuutta Junttisellä voimakkaasti. Kohonneet As- ja Pb-pitoisuudet voidaan ainakin osittain selittää yhdyskunnasta tulleilla päästöillä ja kaukolaskeumalla, osa taas on todennäköisesti peräisin kaivosalueelta. Viimeisimmän 40 vuoden ajanjaksoon sijoittuvat myös sedimenttien korkeat K- ja Mg-pitoisuudet, mikä kuvastanee tehostunutta maankäyttöä ja ojitusta valuma-alueella.

5.2

Junttisellä pintasedimentin alkuaineiden alueellinen jakautuminen

Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskus otti kesän 2006 aikana sedimenttinäytteitä Junttiseltä 13 eri havaintopisteestä sekä yhdestä vertailupisteestä Kirkkoselältä (kuva 15). Sedimenttinäytteet viipaloitiin 0–2 cm, 2–5 cm ja 5–10 cm viipaleiksi. Näytteistä määritettiin alkuainepitoisuudet XRF-analysaattorilla (S, Cl, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Rb, Sr, Zr, Mo, Ag, Cd, Sn, Sb, Ba, Hg ja Pb). Lisäksi näytteistä mitattiin näytteenoton yhteydessä pintasedimentin pH ja redox-potentiaali. Junttisellä sedimentin pintanäytteenoton tarkoituksena oli selvittää eri kuormituslähteiden vaikutus sedimentin alkuainepitoisuuksiin sekä tutkia alkuaineiden alueellista jakaumaa Junttisellä. Näytteitä otettiin toukokuusta elokuuhun seitsemänä mittauskertana, jotta saatiin selvitettyä mahdollisia alkuainepitoisuuksien muutoksia pintasedimentissä kesän aikana. Kesän 2006 tuloksia on verrattu Turun yliopiston geologian laitoksen keväällä 2000 Junttisellä tekemään sedimenttitutkimukseen (Salonen ym. 2000) sekä GTK:n talvella 2005–2006 Junttisellä tekemien sedimenttitutkimusten tuloksiin (Räisänen & Mäkinen 2007).



Kuva 15. Junttiselän kesän 2006 sedimentinäytepisteet. Lisäksi näytteitä on otettu yhdestä Kirkkoselän vertailunäytepisteestä.

Sedimentin pH ja hapetus-pelkistyspotentiaali

Junttiselän sedimentin pintaosan pH-arvot ovat vaihdelleet kesän 2006 aikana lähellä neutraalia. Ainoana poikkeuksena kesän näytteissä on ollut toukokuussa kaivokselta tulevan Tiukupuron läheisyydestä otettujen näytteiden pH-arvo, joka on ollut lievästi emäksinen. Tämä on saattanut johtua kaivokselta tulevien neutraloivien jätevesien vaikutuksesta.

Junttiselän näytepisteiden pintasedimentin redox-potentiaaliarvot (hapetus-pelkistyspotentiaali) ovat vaihdelleet kesän 2006 näytteissä välillä -89 – +113 mV ja Kirkkoselän näytteissä -69 – +113. Suurimmillaan arvot ovat olleet kesän alussa, jonka jälkeen arvot ovat laskeneet negatiivisiksi loppukesällä. Redox-potentiaalini ollessa alle +200 ei sedimentissä ole happea läsnä. Tällöin sedimentin pinnasta liukenee veteen muun muassa rautaa ja ravinteita (Särkkä 1996). Verrattaessa Junttiselän toukokuun 2006 redox-arvoja vastaavana aikana vuonna 2005 mitattuihin arvoihin, voidaan havaita arvojen olleen vuonna 2005 huomattavasti alhaisempia. Vuoden 2005 toukokuussa redox-potentiaali on ollut alhaisimmillaan Junttisyvässä noin -400 mV. Positiivisia arvoja on mitattu tuolloin vain Kirkkoselältä.

Pintasedimentin alkuainepitoisuudet ja alueellinen jakautuminen

Rauta

Kesän 2006 tulosten mukaan rautaa näyttäisi kerrostuvan eniten Junttiselän pohjoisosiin. Vähiten rautaa pintasedimentissä on ollut kaivokselta tulevan jätevesipuron läheisyydessä ja Junttiselän länsipuolella. Kesän 2006 tuloksissa Fe-pitoisuus on vaihdellut Junttiselän pintasedimentissä 40 000–70 000 mg kg⁻¹, Kirkkoselällä pitoisuudet ovat olleet hieman suurempia (taulukko 7). Raudan määrä ei näyttäisi vaihdelleen suuresti eri pisteillä kesän aikana otetuissa näytteissä. Pintasedimentin raudan määrä on samaa luokkaa talvella otettujen sedimenttinäytteiden kanssa (Räisänen & Mäkinen 2007) sekä vuonna 2000 Junttiselällä tehdyissä tutkimuksissa (Salonen ym. 2000).

Rikki

Rikkiä näyttäisi tulosten perusteella kerrostuvan melko tasaisesti Junttiselälle, vähiten rikkiä on kerrostunut kaivoksen jätevesipuron läheisyyteen. Kesän 2006 tuloksissa Junttiselän S-pitoisuus on ollut keskimäärin yli 10 000 mg kg⁻¹ (taulukko 7). Pitoisuudet ovat olleet samansuuruisia kaikissa kesän aikana otetuissa näytteissä. Talven 2006 tuloksissa S-pitoisuudet ovat olleet hieman matalampia.

Mangaani

Kesän 2006 tulosten perusteella mangaania on kerrostunut eniten Junttiselän pohjoisosaan. Vähiten pohjan sedimentissä on ollut mangaania lähellä Tikkalansalmea olevissa näytepisteissä. Junttiselän Mn-pitoisuudet ovat vaihdelleet kesän 2006 tuloksissa 590–1800 mg kg⁻¹ (taulukko 7). Kirkkoselältä mitatut Mn-pitoisuudet ovat olleet huomattavasti suurempia verrattuna Junttiselän mangaanipitoisuuksiin. Mn-pitoisuus ei ole vaihdellut suuresti kesän 2006 aikana. Verrattuna talven 2006 aineistoon, mangaania on kesällä ollut enemmän pintasedimentissä koko Junttiselän alueella. Tämä selittyy sillä, että mangaania liukenee pohjasedimentistä veteen hapettomissa olosuhteissa. Kesällä vesi on hapekasta pohjankin lähellä ja mangaania sitoutuu sedimenttiin.

Taulukko 7.

Junttiselän sedimentistä kesällä 2006 (touko–heinäkuu) määritettyjen alkuainepitoisuuksien keskiarvot (mg kg⁻¹) eri tutkimuspisteiltä syvyydeltä 0–2 cm.

Havaintopaikka	S	Fe	Mn	Zn	Cu	Ca
Niskalahti	15 415	66 373	1 846	364	54	14 453
Pyhäjärvi 17	14 762	66 205	891	414	88	15 142
Junttisyvä		68 274	695	407	107	20 027
Junttiselkä	13 229	53 062	687	385	139	14 271
Junttiselkä B	13 665	54 293	687	381	136	14 029
Mäntyrinta	11 413	39 916	663	172	34	14 343
Salmenselkä		49 676	590	418	165	16 277
Köpsi	15 016	64 444	817	423	90	15 122
Pyhäjärvi 15	11 947	44 035	582	346	126	14 653
Kaivospp läh	11 799	35 291	487	271	115	15 451
Kirkkoselkä		78 883	3 723	1 087	375	10 366

Sinkki ja kupari

Sinkkiä kerrostuu Junttiselän pohjois- ja eteläosan sedimentteihin. Sinkkiä ei näyttäisi kerrostuvan paljon kaivoksen jätevesipuron läheisyyteen eikä Parkkimajoen suulle. Zn-pitoisuudet ovat vaihdelleet Junttiselän sedimentissä kesän 2006 tuloksissa 170–500 mg kg⁻¹ (taulukko 7). Kirkkoselän näytepisteen kesän keskiarvoinen Zn-pitoisuus on ollut kaksinkertainen verrattuna Junttiselän suurimpiin pitoisuuksiin.

Cu-pitoisuus on suurimmillaan Junttiselän eteläosissa. Cu-pitoisuudet ovat vaihdelleet Junttiselällä kesällä 2006 30–140 mg kg⁻¹ (taulukko 7). Myös kuparipitoisuudet ovat olleet Kirkkoselän näytepisteen sedimentissä huomattavasti suurempia verrattuna Junttiselän sedimentteihin.

Kalsium

Ca-pitoisuudet ovat Junttiselällä ja Kirkkoselällä kesän 2006 tulosten mukaan olleet 14 000–20 000 mg kg⁻¹ (taulukko 7). Eniten kalsiumia on kerrostunut Junttisyvän pintasedimenttiin. Kaivoksen jätevesipuron läheisyydessä pitoisuudet ovat olleet melko pieniä. Kirkkoselällä mitatut kalsiumpitoisuudet ovat olleet Junttiselkää alhaisempia.

6 Junttiselän veden happamoituminen keväällä ja sitä säätelevät tekijät

Marja Liisa Räisänen, Hannu Nykänen, Jari Mäkinen ja Marja-Leena Heikkinen

6.1

Junttiselän veden fysikokemiallinen tila kevätkierron aikana

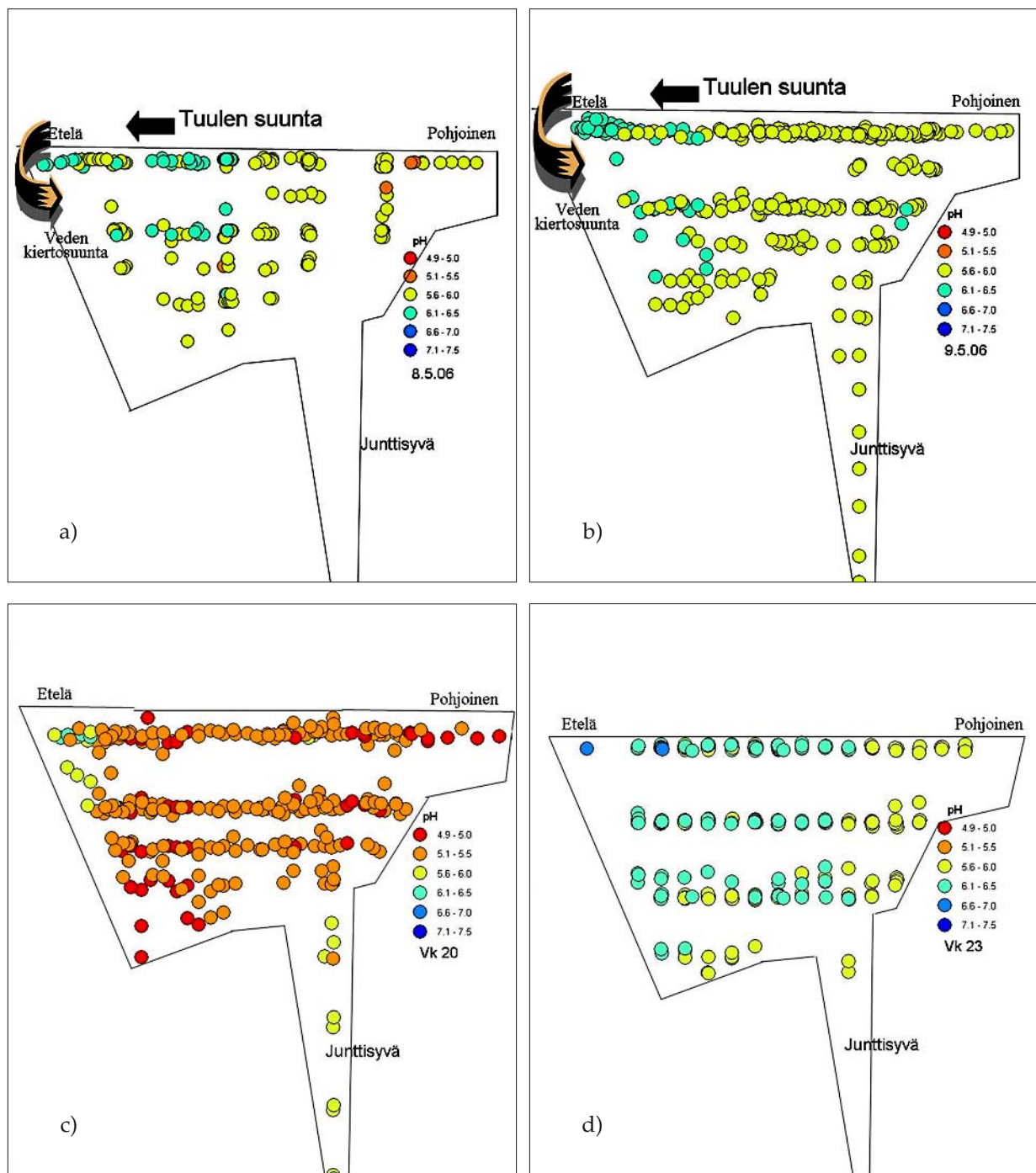
GTK kartoitti Junttiselän koko vesitilavuuden fysikokemiallisen tilan kenttämittauksilla (Ysi-sondi) vuoden 2006 keväällä jääkannen aikana viikolla 14 ja jäiden sulamisen jälkeen toukokuussa viikoilla 19 ja 20. Kenttämittausten lisäksi Junttiselältä otettiin samanaikaisesti vesinäytteitä laboratoriomäärittelyksiin. Junttiselän tilaa tarkkailtiin myös vuoden 2007 keväällä (Räisänen & Mäkinen 2007).

Vesi oli talviaikaan 2006 Junttiselällä voimakkaasti kerrostunut, mikä ilmeni fysikokemiallisten ominaisuuksien vaihteluna pystysuunnassa. Jään alapuolella pintaosan veden happipitoisuus oli keskimäärin yli 10 mg l⁻¹ ja sähkönjohtavuus pieni, alle 5 mS m⁻¹. Noin 2 metrin syvyydessä esiintyi kerros, jossa pH aleni voimakkaasti, lähelle arvoa pH 5 ja redox-potentiaali kohosi suhteessa ylä- ja alapuolisiin kerroksiin. Tämän kerroksen alapuolella vesi muuttui nopeasti hapettomaksi ja veden sähkönjohtavuus nousi yli 100 mS m⁻¹. Edellä kuvattu veden kerroksellisuus oli samanlainen koko Junttiselän alueella.

Toukokuun alussa (viikko 19) kenttämittaukset tehtiin 2 päivää jäiden lähdön jälkeen, jolloin pohjoistuulet alkoivat sekoittaa Junttiselän vettä (kuva 16). Vedessä oli vielä kerroksellisuutta, mutta turbulenssin vaikutuksesta kerrokset olivat jo osittain sekoittuneet. Puhdas ja hapekas pintavesi pakkautui tuulen voimasta Junttiselän eteläpäähän ja samalla eteläpään syvänteessä oleva hapeton ja kontaminoitunut vesi virtasi kohti Junttiselän pohjoisosaa. Kun syvänteestä tuleva kontaminoitunut vesi virtasi kohti Junttiselän pohjoisosaa ja sekoittui puhtaan pintaveden kanssa, veden pH laski, ensin järven pohjoisosassa ja myöhemmin koko järvessä (kuva 16).

Toukokuussa (viikko 20) koko Junttiselän vesi lukuun ottamatta syvännettä oli sekoittunut lähes täysin, eikä vedessä enää esiintynyt kerroksellisuutta. Koko järvessä pH oli laskenut arvoon 5 (kuva 16). Redox-potentiaali nousi arvoihin 170–328 mV. Veden happipitoisuus vaihteli välillä 9–12 mg l⁻¹ ja sähkönjohtavuus 35–100 mS m⁻¹. Koko järvaltaan veden fysikokemialliset muutokset viikkojen 19 ja 20 aikana olivat samanlaisia kuin muutokset, jotka talviaikaan havaittiin kahden metrin syvyydellä olleessa happamoituneessa kerroksessa.

Junttiselän veden pH-arvojen keskiarvo laski huhtikuun noin 6,5 arvosta toukokuussa lähelle arvoa 5 ja kohosi kesäkuussa takaisin huhtikuun lukemiin (kuva 16). Vuoden 2006 tulokset osoittavat, että hapettumisen suhteen reaktiivisinta järvivesi oli jo huhtikuussa järven pintakerroksessa. Hapettuminen käynnistyi jo jääkannen alla kahdessa metrissä huhtikuussa. Huhtikuussa pintaveden happipitoisuus jään alaosan sulaessa oli maastomittauksissa samaa luokkaa kuin kesäkuussa. Vuoden 2007 keväällä Junttiselällä tapahtui vastaavanlainen happamoituminen. Tuolloin pinta- ja keskikerrosten vesi oli happamoitunut poikkeuksellisesti jo helmikuun ja maaliskuun vaihteessa.



Kuva 16. pH-arvojen jakauma Junttiselän vesirungossa pohjois-eteläsuunnassa a) 2 päivää, b) 3 päivää, c) viikko (vko 20) jäiden lähdön jälkeen toukokuussa sekä d) kesäkuun alussa (viikko 23) vuonna 2006.

6.2

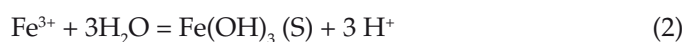
Junttiselän veden happamoitumisen synty ja sitä säätelevät tekijät

Tutkimustiedon perusteella Junttiselän happamuuden vaihtelu näyttäisi olevan ensisijaisesti seurausta kemiallisista hapetus-pelkistysreaktioista talven ja kevään aikana. Talviaikana järven pohja on lähes hapeton, jolloin pohjan sedimenteistä liukenee veteen rautaa, mangaania ja vähemmässä määrin alumiinia. Talvella hapettoman ja hapellisen veden rajapinnassa sekä kevään täyskierrossa vähähappisen ja hapekkaan veden sekoittuessa käynnistyy raudan ja rikkiyhdisteiden hapettuminen. Hapetus-pel-

kistysreaktiot tuottavat happoa, joka laskee nopeasti koko Junttiselän pH:n alhaisiin lukemiin. Happamoitumisen myötä veteen vapautuu pääasiassa veden kiintoaineksesta eliöstölle myrkyllistä alumiinia. Todennäköisesti pääasiallisena hapon lähteenä toimii raudan saostuminen. Myös sulfidipitoisen mineraalin hapettuminen voi tuottaa happamuutta. Muita mahdollisia happoa tuottavia reaktioita ovat orgaanisten ravinnepartikkeleiden hapettuminen. Tulokset eivät osoita suoraa viitettä, että nykyiset kaivoksen ja kaupungin jäteveden puhdistamon jätevedet aiheuttaisivat keväisen happamuuspiikin. Kaupungin jätevesikuormituksella on rehevöitymistä lisäävä vaikutus ja sen myötä yhteys talviseen alusveden happikatoon. Kaivoksen jätevedet sisältävät rikkiyhdisteitä, lähinnä kipsiä, joka toimii happamuuden neutraloijana. Jätevedenpuhdistamon jätevedet taas sisältävät lähinnä ravinteita ja orgaanista ainesta (Räisänen & Mäkinen 2007, Nykänen 2007a).

Happamuutta aiheuttavat reaktiot – rauta-alumiinikemia

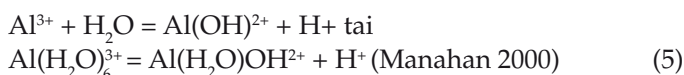
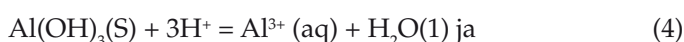
Raudan hapettumis- ja alumiinin hydrolysoitumisreaktiot näyttäisivät olevan keskeisellä sijalla Junttiselän veden kevätkiertoon liittyvässä happamoitumisessa. Keväällä 2007 Junttiselän vesi happamoitui jo talvella jääkannen alla. Tässä yhteydessä tehdyt tarkemmat geokemialliset tutkimukset vahvistivat vuoden 2006 vuodenaikaisseurantatuloksissa havaittuja happamuutta aiheuttavia reaktioita. Talvikuukausina vesi on kemialliselta ja fysikaaliselta laadultaan kerroksellista; pintavesi (2 metrin yläpuolella) on hapekasta, alemmissa vesikerroksissa (2 metrin alapuolella) hapen määrä vähenee asteittain ja on pienin Junttisyyvän alusvedessä. Vähähappinen vesipatja luo sedimenttipohjan päälle pelkistävän tilan, mikä edesauttaa raudan liukenemista sedimentistä, lähinnä rautasaostumista vesirunkoon (Deng & Stum 1994, Manahan 2000). Jään sulaessa hapekasta vettä sekoittuu kevätkierron aikana alempiin vähähappisiin vesikerroksiin, jolloin veteen liuennut rauta hapettuu ja saostuu (Manahan 2000). Veden pH laskee hapettuneen raudan (ferriraudan) saostuessa (reaktio 1). Saostumisessa osa veden hapesta sitoutuu saostuvaan rautahydroksioksidein, mikä ilmenee happipitoisuuden pienenemisenä niissä kerroksissa, missä rautaa saostuu ja vesi happamoituu (Nordstrom & Alpers 1999). Raudan hapettumis- ja saostumisreaktiot (Manahan 2000):



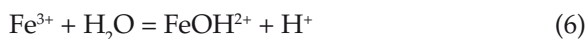
Hapettuneen raudan saostuminen vapauttaa vesirunkoon protoneja (happokomponentteja), mikä puolestaan edistää alumiinin liukenemista vedessä olevista Al-pitoisista orgaanisesta aineksesta ja veden Al-saostumista. Orgaanisen aineksen hapettumisreaktioissa vapautuu hiilidioksidia ja protoneja. Myös tämä reaktio voi tuottaa happamuutta (aq = liukoinen, g = kaasu) (Manahan 2000):



Alumiinisaostuman hajoaminen ja alumiinin hydrolysoituminen vapauttavat veteen happamuutta:

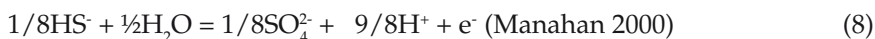
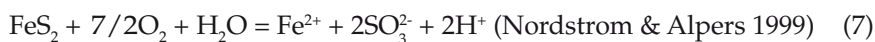


Myös hapettuneen raudan (ferriraudan) liukeneminen on hydrolysoitumisreaktio ja siinä vapautuu protoneja (Manahan 2000):



Junttiselän sedimentti- ja vedenlaatutulosten perusteella kevään happamoitumisreaktioihin osallistuvan Fe-hydroksidioksidin lähteenä on lähinnä järven pohjasedimentti ja vedessä oleva rautapitoinen kiintoaine (saostuma tai orgaaninen aine). Sedimentissä rautaa on sitoutuneena rautasaostumiin ja rautasulfideiksi sekä silikaattimineraaleihin. Rautasaostumat eivät ole pysyviä vähähappisessa ympäristössä. Pelkistävässä tilassa saostumien hajoaminen riippuu niiden kiteytymisasteesta (Nordstrom & Alpers 1999). Sedimentissä näkyi ruskeaksi värjäytyneitä kerroksia, joten voidaan olettaa, että talvella veteen osa liukenevasta raudasta on lähtöisin pelkistävästä pintasedimentistä ja osa veden kiintopartikkeleista. Liukoisen hapettumattoman raudan pitoisuudet kasvoivat vesirungossa pohjaa kohden, kun taas alumiinin pitoisuudet olivat suurimpia happamoituneissa pinnan läheisissä kerroksissa (1–2 m) tai keskikerroksissa (3–5 m).

Rautasulfideja saostuu pelkistävässä tilassa vähähappisesta vedestä sedimenttiin. Vedenlaatutulosten perusteella talvikuukausina suurin osa rikistä oli kuitenkin sulfaattimuodossa ja vain hyvin pieni osa veteen liuenneesta rikistä oli sulfidista (Nykänen 2007b). Sulfaatin pelkistyminen nostaa pH:ta ja tätä ilmeisesti tapahtuu jonkin verran talviaikaan, koska sedimenttikerroksissa näkyi mustia raitoja. Pelkistynyt rikki voi vapautua veteen rikkivetynä tai saostua yhdessä raudan kanssa rautasulfidina. Rautasulfidit eivät ole pysyviä hapellisissa oloissa. Täten voisi olettaa, että rautaa vapautuu veteen sedimentistä myös hapellisen veden painuessa pohjalle ja käynnistää pohjasedimentin rautasulfidien hapettumisen raudaksi ja sulfaattiseksi rikiksi ja veden happamoitumisen (reaktio 7). Myös mikrobiologisessa hajoamisessa veteen liunneen vetysulfidin hapettuessa sulfaatiksi vapautuu veteen protoneja.



Keväällä 2007 jääkannen alla tapahtunut veden happamoituminen vesipatjan keskiosassa pohjan vesikerroksen ollessa vielä vähähappinen ei näyttäisi tukevan rautasulfidien hapettumisen olevan happamoitumisen päälähte. Oletettavaa on, että sulana kautena pohjaan saostuneet rautahydroksidioksidisaostumat alkavat liueta uudelleen talven aikana. Sedimentistä veteen liennut rauta voi saostua uudelleen rautasulfidina, mikäli alusvedessä tai sedimentin huokosvedessä on riittävästi pelkistynyttä rikkiä vetysulfidina. Toisena lähteenä alusveden liukooselle raudalle voi olla vesirungon rautahydroksidisaostumat, joita saostuu talvikautena kahden metrin alapuolella (Räisänen & Mäkinen 2007).

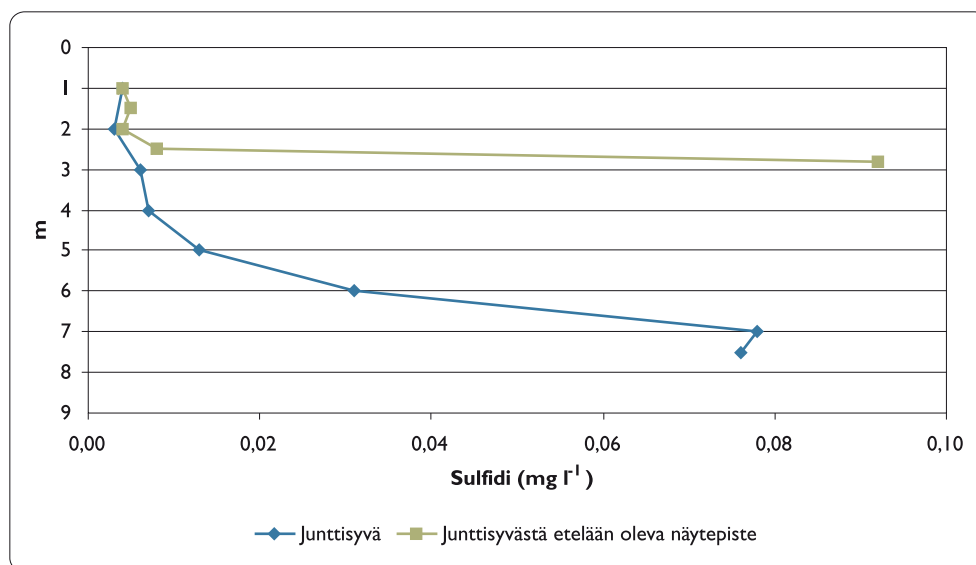
Rikin merkitys happamuuden synnyssä – sulfidimineraalien hapettuminen

Rikki on yleisimpiä maankuoren alkuaineita. Hapettunein muoto siitä on sulfaatti SO_4^{2-} hapellisissa oloissa ja pelkistynein muoto sulfidi S^{2-} hapettomissa oloissa. Kaivostoiminnan yhteydessä sulfidimalmeille tyypillinen ongelma on rikastushiekkien ja sivukivien sulfidimineraalien hapettuminen ja sen aiheuttamat happamat valumavedet. Kosteissa olosuhteissa metallisulfidimineraalit, pääasiassa rautasulfidit, hapettuvat ilman hapen ja bakteeritoiminnan vaikutuksesta tuottaen veteen rikkihappoa, sekä vapauttaen veteen metalli-ioneja. Sulfaatin pelkistävät sulfidiksi sulfaatin pelkistäjäbakteerit. Sulfaatin pelkistäjäbakteereja on kaikkialla, ja ne alkavat toimia, kun olosuhteet muuttuvat suotuisiksi niille: kun on saatavilla sulfaattia ja vallitsee hapettomat olot. Sulfaattikuormituksen on todettu lisäävän merkittävästi

sulfaatin pelkistymistä. Hapettomissa oloissa sulfaatin pelkistäjäbakteerit hapettavat orgaanisia aineita pelkistäessään sulfaattia sulfidiksi tuottaen samalla alkaalisuutta ja sakkauttavat metalleja. Kun happea on jälleen saatavilla, sulfaatin pelkistyksessä syntyvä rikkivety reagoi raudan kanssa ja syntynyt FeS_2 -sakka tuottaa happamuutta ja sulfaattia (Nordstrom & Alpers 1999).

Termillä AMD (Acid mine drainage) tarkoitetaan hiilen tai kiisumineraalien louhinnasta seuraavien sulfaattipäästöjen seurauksena syntyvää happamuutta alapuolisessa vesistössä. Happamuus kaivostoiminnan vaikuttamissa vesistöissä voi saavuttaa arvoja, jotka ovat alle pH 4 pysyvästi, joissakin tapauksissa esimerkiksi 2,6 (Frömmichen 2004). Blodau:n (2006) mukaan pintavesien saastumista AMD:llä tapahtuu ennen pitkää yleensä kaikkialla, missä hiiltä tai sulfidimalmeja louhitaan. Tunnusomaista AMD vesistöille on korkea sulfaattipitoisuus, korkea raudan määrä ja matala pH. Happamuus johtaa vesistön karuuntumiseen, jolloin sulfaatin pelkistäjäbakteerit eivät saa tarvitsemaansa hiiltä alkaalisuuden tuottamiseen. Tästä voi seurata pysyvä happamuustila. Maailmanlaajuisesti kaivostoiminnan seurauksena pysyvästi happamoituneiden vesistöjen määrä on suuri. Suomesta on paleolimnologisesti määritelty AMD järveksi Orijärvi, jossa kuparikaivoksen seurauksena sedimentin Cu-, Pb- ja Zn-pitoisuudet ovat kaksi tai kolme kertaluokkaa korkeammat kuin taustapitoisuudet (Salonen ym. 2006). Junttisälän tapauksessa ei ole kyse suoranaisesti AMD:n aiheuttamasta happamuusilmiöstä, koska kuormittajina on muitakin kuin kaivoksen jätevesikuormitus.

Junttisälällä sulfidipitoisen mineraalin hapettuminen hapella tai ferriraudalla voi tuottaa happamuutta hitaasti kemiallisesti tai nopeasti mikrobiologisesti. Sulfidin lähteenä on järven pohjan noin 14–20 cm:n paksuinen, lähinnä kaivoksen jätevesipäästöstä lähtöisin oleva rikkipitoinen kerros, jossa osa rikistä on sulfideina. Tehtyjen laboratoriokokeiden perusteella Junttisälän rikkipitoisesta sedimentistä syntyy sulfidia hapettomissa olosuhteissa sulfaattia pelkistävien mikrobien toimesta (Nykänen 2007b), myös sulfidin esiintyminen vesirungossa todistaa mikrobiologisen sulfaatin pelkistymisen olemassaolon sedimentissä. Sulfaatin pelkistyminen tuottaa alkaalisuutta. Matalassa pH:ssa suurin osa sulfidista on rikkivetyä (H_2S), jolloin se voi tihtua vesirunkoon, jollei se reagoi sedimentin kaksiarvoisten metallien (Fe, Cd, Cu, Co tai Zn) kanssa sulfidimineraaleja muodostaen (Moncur ym. 2006). Kuvassa 17 on esitetty Junttisälän sulfidigradiendi maaliskuulta 2007 jääkannen alta otetuista näytteistä. Vesirunkoon liuenut sulfidin määrä pohjassa on mittausten mukaan moninkertainen verrattuna muihin vesirunkoon liuenneisiin kaasuihin (mm. metaani, hiilidioksidi).



Kuva 17. Sulfidin määrä Junttisälän vesirungossa 21.3.2007 kahdella eri näytepisteellä.

Junttiselän sedimentin ja veden prosessitutkimukset

Junttiselän veden ajoittainen happamoituminen ilmenee ympäristössä tapahtuvien luonnollisten muutosten yhteydessä; keväällä jäiden lähdettyä veden hapettuminen koko vesirungossa johtaa tilanteeseen, jonka seurauksena happamuus ilmenee. Luonnossa tapahtuvia muutoksia hallituissa olosuhteissa jäljittelevät laboratoriomittakaavan prosessitutkimukset ovat yksinkertainen tapa tutkia prosesseja ja tilanteita, jotka johtavat happamoitumiseen. Junttiselän sedimentissä ja vedessä tapahtuvia prosesseja ja happamoitumista tutkittiin laboratorio-olosuhteissa kevättalvella vuosina 2006 ja 2007 otetuilla näytteillä. Näytteistä tutkittiin vesirungon ominaisuuksia sekä siihen liuenneita kaasuja. Lisäksi happamoitumisprosessia tutkittiin pullokokeella ja mikrokosmoslaitteella (Nykänen 2007b).

Pintasedimentin ja veden happamoitumisprosessin tutkiminen pullokokeella

Junttiselän pintasedimentin ja veden happamoitumisprosessia tutkittiin ns. pullokokeella. Kokeessa otettiin pulloihin sedimenttinäyte Junttiselältä sekä vertailunäyte Kirkkoselän puolelta 16.3.2006. Sedimenttinäytteistä poistettiin vettä, jonka tilalle lisättiin happea (hapellinen koejärjestely) ja typpeä (hapeton koejärjestely). Vedestä mitattiin 10 vuorokauden päästä pH, sähkönjohtokyky ja kaasupitoisuudet sedimentin ja veden yläpuolisesta kaasutilasta.

Junttiselän pullokokeen tulosten mukaan hapettomassa tilassa sedimentin yläpuolisen veden pH oli lähellä neutraalia. Kevään parantuvaa happitilannetta jäljittelevä hapen lisäys johti voimakkaaseen happamuuden lisääntymiseen Junttiselän näytteillä, muutos oli 2–3 yksikköä. pH laski myös Kirkkoselän näytteillä, mutta keskimääräinen muutos oli huomattavasti pienempi, yhden pH-yksikön luokkaa. Samankaltainen koe tehtiin osittain hapellisilla Junttiselän pintasedimenttinäytteillä (16.3.2007), jonka päälle lisättiin hapellista Kallavedestä otettua vettä. Kyseinen koe ei johtanut veden voimakkaaseen happamoitumiseen. Tämä tosin voi olla seurausta Kallaveden veden paremmasta puskurikyvystä tai pintasedimentin suuresta kalkkipitoisuudesta.

Junttiselän ja Kirkkoselän pintasedimentin ja sen yläpuolisen vesikerroksen hapontuotto happea lisättäessä osoittivat potentiaalisen happamuuden synnyn liittyvän muuttuneisiin happiolosuhteisiin. Myös hapellisella ”normaalin” järven vedellä käsitelty pintasedimentti happamoitui, mutta se ei tuottanut happamuutta samassa määrin kuin Junttiselän sedimentin ja veden käsittely hapellisina.

Happamoitumisprosessin tutkiminen mikrokosmoslaitteella

Junttiselän happamoitumisprosessia tutkittiin myös ns. mikrokosmoslaitteella (mukaillen Levadovskin 2002 menetelmää). Laitteeseen pyrittiin saamaan samankaltaiset olosuhteet kuin järven pohjan sedimentissä ja sen yläpuolisessa vedessä. Laitteessa vettä kierrätettiin letkupumpulla sedimentin yläpuolella, ja vedestä mitattiin samalla automaattisesti pH, hapetus-pelkistyspotentiaali, johtokyky ja lämpötila. Näytteet, yhteensä 3 profiilia, otettiin mikrokosmoslaitteeseen Junttiselältä 17.3.2007 noin kolmen metrin syvyydestä. Sedimenttien yläpuolisen veden ominaisuudet vastasivat kentältä mitattuja ominaisuuksia kokeen aloituksessa. Sedimenttilaitteeseen lisättiin kokeen kuluessa, sedimentin yläpuolelta, vesirungosta otettua vettä.

Kuukauden kestäneen kokeen alussa vesi oli hapellista ja hapanta (pH n. 5). Kun vesi tehtiin hapettomaksi tyypellä kuplittamalla, pelkistyspotentiaali ei laskenut eikä veden pH noussut. Pelkistyspotentiaali saatiin voimakkaasti negatiiviseksi vasta hiilenlähteen lisäyksellä, tämän seurauksena happamuus vedessä väheni (pH 7,2). Ilmalla kuplittamalla pelkistyspotentiaali kohosi ja pH laski 5,5:een. Tämän jälkeen sedimentin yläpuolinen vesi on käyttäytynyt siten, että pH on ollut 5–6 riippumatta vesirungon hapellisuudesta tai hapettomuudesta.

pH:n tasoittumista voidaan selittää sillä, että happamuutta tuottavien prosessien ja alkaalisuutta tuottavien prosessien välillä vallitsee tasapaino, sen jälkeen kun käytettävissä olevan hiilen määrä on kohotettu keinotekoisesti korkeaksi. Junttiselän veden pienestä hiilenmäärästä siirryttiin keinotekoisesti noin satakertaiselle tasolle. Sedimentin mustasta väristä päätellen se pysyy hapettomana vaikka yläpuolinen vesi on hapellista.

Raudan eri muotoja seurattiin koko kokeen ajan. Ferrorautaa (Fe^{2+}) vapautui sedimentistä vesirunkoon hapettomissa olosuhteissa. Olosuhteiden muuttuessa hapelliseksi ferrorauta hapettui nopeasti ferriraudaksi (Fe^{3+}) tuottaen happoa sakkautuessaan, sakkautumisen osoitti veden liukoisen kokonaisraudan pitoisuuden putoaminen 6:sta 1:een mg l^{-1} .

Muiden metallien liukeneminen mikrokosmoslaitteessa on ensisijaisesti seurausta pH:n laskusta. Kokeessa alumiinin, sinkin, kuparin, kromin ja nikkelin pitoisuudet vedessä kasvoivat pH:n laskiessa. Alumiinin, sinkin ja kromin pitoisuudet laskivat pH:n jälleen kohotessa, sen sijaan kuparin, kromin ja nikkelin pitoisuudet pysyivät samalla kohonneella tasolla pH:n jälleen kohotessa.

Kokeessa mitatun sulfidin määrä vedessä oli 0,001–0,008 mg l^{-1} . Sulfaatin määrä vedessä laski hapettomassa vaiheessa arvosta 443 mg l^{-1} arvoon 390 mg l^{-1} . Sulfaatin määrä vedessä on vähentynyt edelleen vesirungon ollessa hapellinen. Sulfidin esiintyminen ja sulfaatin väheneminen osoittaa sulfaatin pelkistykseen toimivan aktiivisesti sedimentissä. Vaikka vesirunko oli hapellinen, valkean sakkakerroksen alla toimi aktiivinen sulfaatin pelkistys. Tästä voi päätellä, että sulfidista osa sitoutuu sedimentin metalleihin ja osa poistuu kuplituksen yhteydessä kaasumaisena.

Johtopäätökset

Tehdyt kokeet vahvistavat käsityksiä happamuuden syistä. Sedimentti sinänsä ilman mikrobiologisia ja kemiallisia prosesseja ei aiheuta happamuuden syntyä. Happamuuden synty on seurausta prosesseista, jotka tuottavat ja prosessoivat sedimentissä olevia aineita siten, että niitä vapautuu sedimentistä vesirunkoon ja niiden reagoidessa hapen kanssa syntyy happoa. Happipitoisuuden kohotessa ferroraudan hapettuminen ferriraudaksi ja sen sakkautuminen tuottaa happamuutta. Myös sulfidipitoisen mineraalin hapettuminen hapella tai ferriraudalla tuottaa happoa. Happamuus lisää metallien vapautumista sedimentistä vesirunkoon.

Kevättalvella 2007 otetuissa näytteissä Junttiselän vesi oli lievästi hapanta jo talvella (pH 5,6). Voimakasta keväthappamoitumista ei kuitenkaan esiintynyt. Myöskään pullokokeissa ja mikrokosmoslaitteen kokeissa voimakasta ja pysyvää haponmuodostusta keväällä 2007 otetuilla sedimenteillä ei esiintynyt. Kuitenkin pH on asettunut mikrokosmoksessa tasolle joka vastaa Junttiselän vettä kevättalvella 2007.

7 Junttiselän kuormitushistoria piilevien ilmentämänä

Mikko Tolkkinen ja Tommi Kauppila

Pyhäjärven Junttiselän kuormitushistoriaa selvitettiin vuonna 2006 tehdyssä sedimenttitutkimuksessa (Tolkkinen 2007). Tutkimuksessa järven kuormitushistoriaa selvitettiin lähinnä geokemian ja piilevien avulla. Piilevät ovat hyviä indikaattoreita vedenlaadun muutoksille, sillä niiden nopeasta elinkierrosta johtuen lajikoostumus vaihtuu nopeasti vedenlaadun muutosten myötä. Nykyään järven kehityshistorian rekonstruointi on mahdollista tehdä piilevien avulla hyvinkin tarkasti (Sorvari 2001).

Tutkimukseen liittyvät kenttätöet aloitettiin kevättalvella 2006 nostamalla sedimenttinäytteet Pyhäjärven eri osista (kuva 18). Piilevä- ja geokemian määrittelyä varten kairattiin stratigrafinen sedimenttinäyte kahdesta eri Junttiselän pisteestä (P1 ja P2) sekä kaksi vertailunäytettä Kirkkoselältä (P3 ja P4) (kuva 19). Näytteenotossa käytettiin Geologian tutkimuskeskuksen putkinäytteenotinta, jolla otettiin 1 m:n pituinen näyte kaikista pisteistä. Näytteet viipaloitiin 1 cm viipaleiksi analysointia varten. Laboratoriossa sedimenttinäytteistä tehtiin analyysinä kemiallisen koostumuksen selvittämiseksi ja ajoitusta varten. Lisäksi näytteistä määritettiin piilevälaajisto.

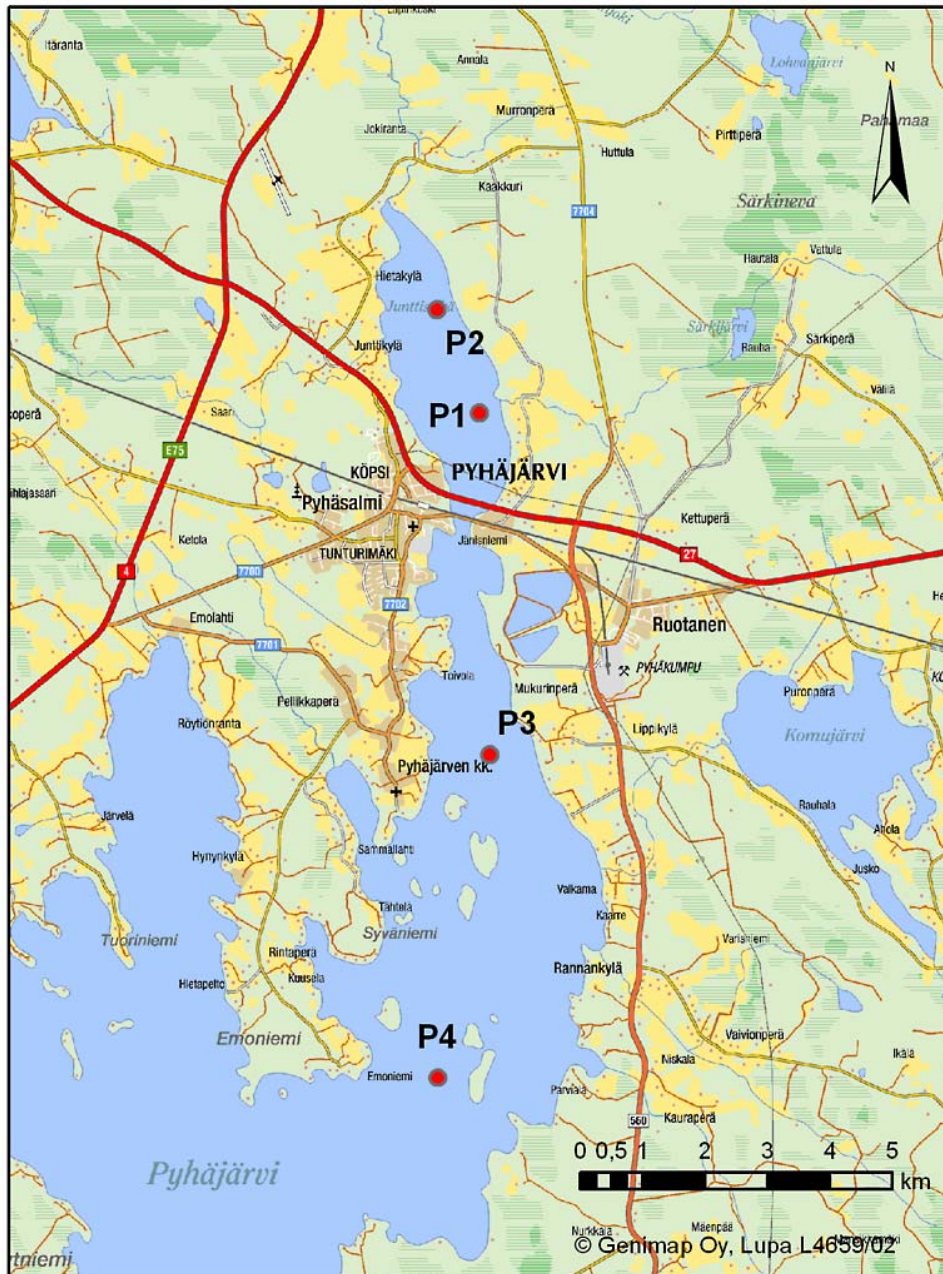
7.1

Sedimentin geokemia

Jotta sedimentissä olevien piilevien lajistotietoa voitiin tutkimuksessa hyödyntää, ajoitettiin sedimentin kerrostuminen. Sedimenttinäyte ajoitettiin Cesium-137 ajoitusmenetelmällä. Cesium-137 ajoituksen lisäksi kaivoksen alkamisajankohta (vuonna 1962) sidottiin sedimenttisarjaan geokemia-analyysin avulla. Vuosittaiseksi sedimentin kerrostumisnopeudeksi arvioitiin noin 0,5 cm/a. Jokaisesta näytepisteestä tehtiin alkuaineanalyysi 20 eri syvyydeltä väliltä 0–100 cm. Sedimenttinäytteiden kemiallinen koostumus analysoitiin useiden eri alkuaineiden osalta. Tärkeimpinä alkuaineita kaivoksen alkamisajankohtaa määritettäessä olivat kupari ja sinkki.



Kuva 18. Sedimenttinäytteenottoa Pyhäjärven Kirkkoselällä talvella 2006. Kuva Hannu Nykänen.

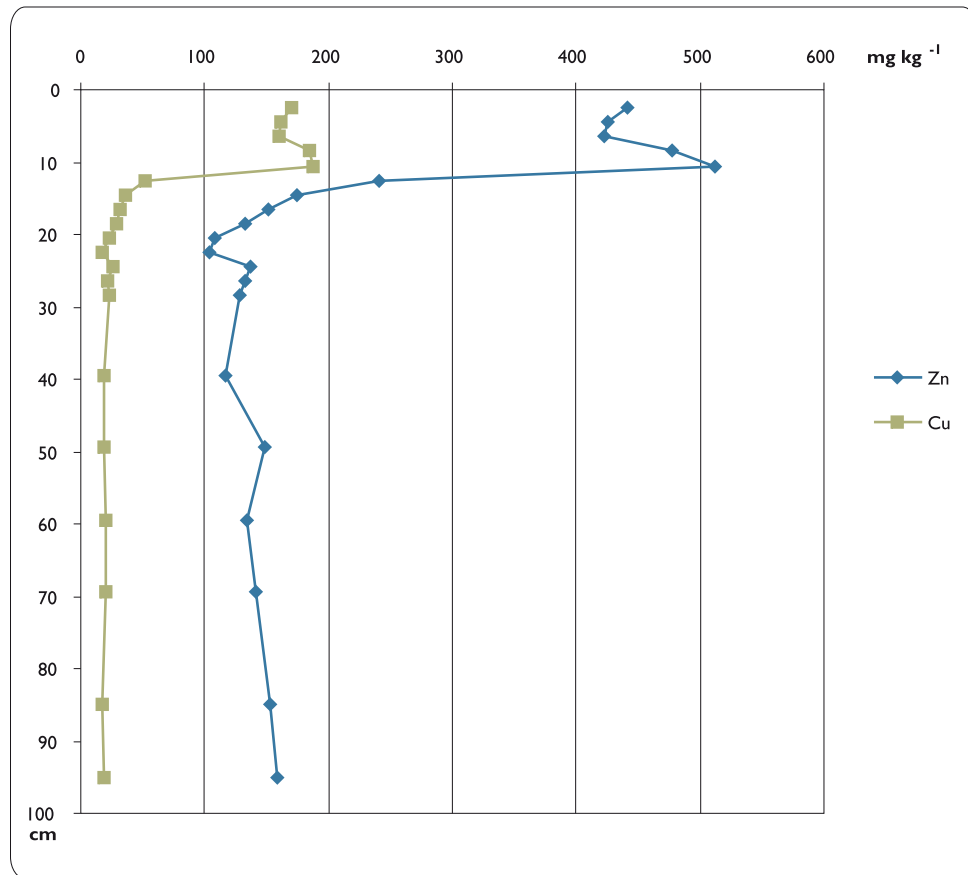


Kuva 19. Sedimenttinäyteiden näytesteet Pyhäjärvellä talvella 2006.

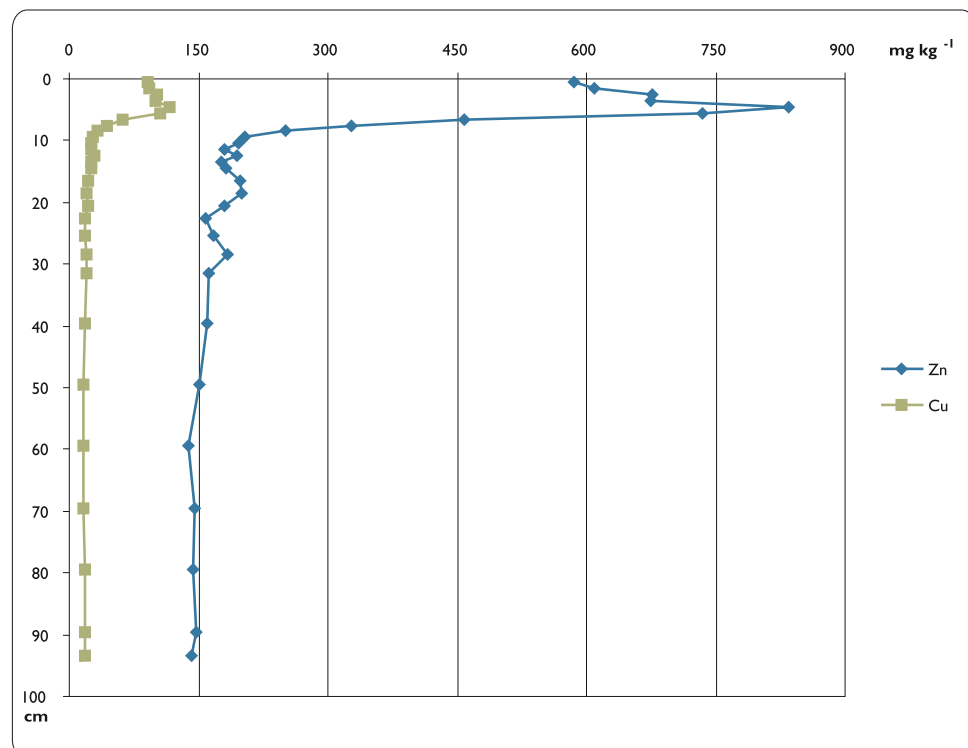
Junttiselän pisteen P1 geokemiaa tarkasteltaessa voidaan havaita kupari- ja sinkkipitoisuuksien äkillinen nousu syvyydellä 12,5 cm sedimentin pinnasta mitattuna (kuva 20). Kupari- ja sinkkipitoisuuksien nousu edustaa luultavasti kaivoksen toiminnan alkamisajankohtaa, sillä kaivoksen rikastusaltaista johdetun veden mukana vesistöön on alkanut tulla lisää kuparia ja sinkkiä. Kuparia ja sinkkiä ei olisi voinut tulla vesistöön tällaisia määriä muualta valuma-alueelta eikä ilmalaskeumana.

Kirkkoselän vertailunäytesteissä P3 ja P4 sinkki- ja kuparipitoisuudet kasvavat samalla tavalla kuin Junttiselän puolella (kuva 21). Tämän perusteella kaivoksen vaikutus näkyy myös Kirkkoselän puolella. Pisteessä P4 sinkkipitoisuus nousee jopa suuremmaksi kuin Junttiselän pisteissä. Väliaikainen veden virtauksen kääntäminen Junttiselältä Kirkkoselälle ei selitä näin selvää metallipitoisuuden nousua Kirkkoselän puolella. Yhtenä mahdollisuutena on kaivostoiminnan alkuaikoina Kirkkoselkään johdetut saostamattomat jätevedet (Vesajoki 1969, Mustikkamäki 2003). Tätä tukee myös havainto, että Kirkkoselän pisteessä P3, joka on lähempänä kaivokselta tullutta ojaa, on suuremmat metallipitoisuudet kuin pisteessä P4. Oja, jota pitkin sinkkirikas-

tetta pääsi Kirkkoselälle, on vuosien varrella ruopattu. Ojassa on edelleen korkeat sinkkipitoisuudet ja alhainen pH (Himmi 2006). Ojasta on myöhemminkin voinut liueta sulfaatteja ja metalleja Kirkkoselän puolelle.

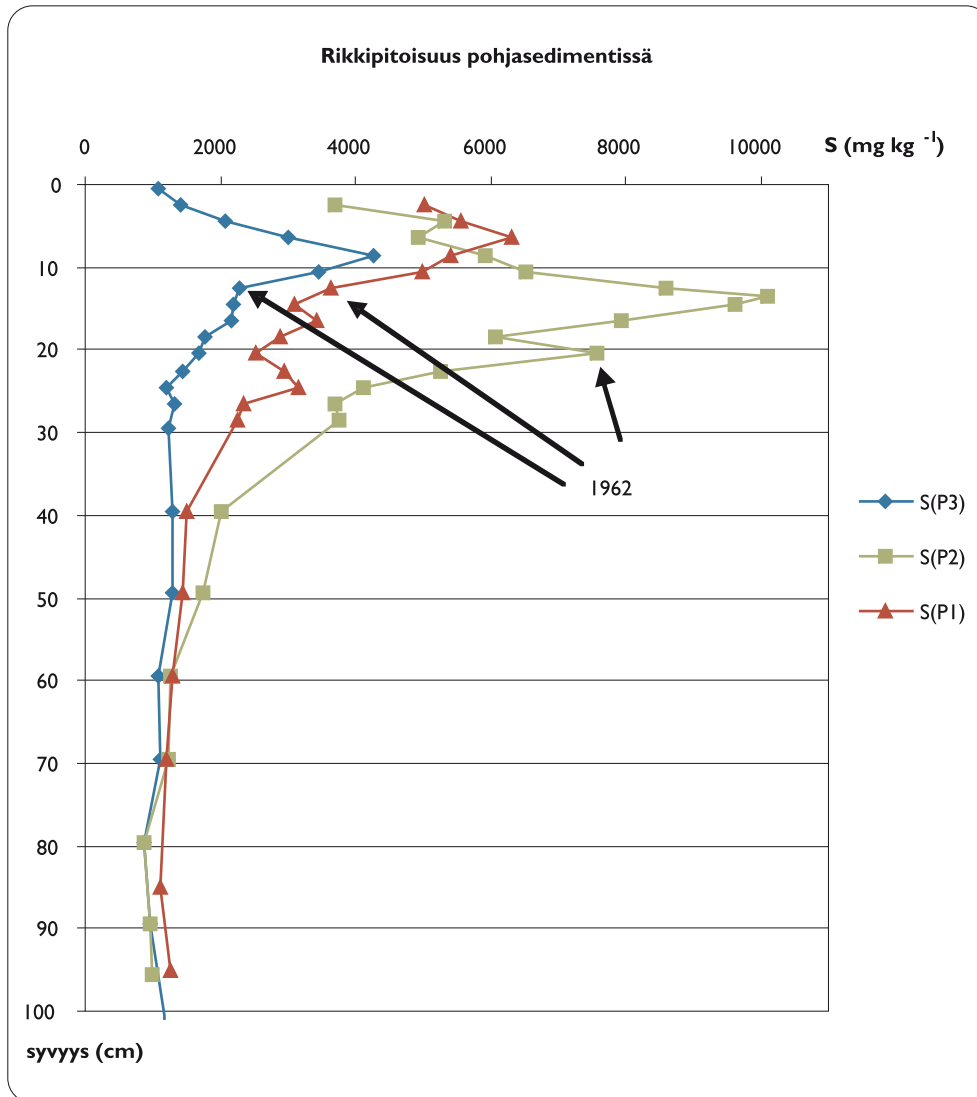


Kuva 20. PI pisteen kupari- ja sinkkipitoisuus.



Kuva 21. P4 pisteen kupari- ja sinkkipitoisuus.

Kuvassa 22 on esitetty Pyhäjärven sedimenttien rikkipitoisuus. Rikkipitoisuus lähtee kohoamaan selvästi pisteissä P1 ja P3 kaivoksen toiminnan alkamisen arvioituna ajankohtana (1962) noin 12 cm:n syvyydellä. Syynä rikkipitoisuuden kasvuun voivat olla kaivokselta tulleet rikkipitoiset laskeumat. Muun muassa rikasteen kuivatuksessa käytetty raskas polttoöljy voi olla osasyynä kohonneisiin rikkipitoisuuksiin.



Kuva 22. Rikkipitoisuus pohjasedimentissä eri näytepisteissä sekä kaivoksen perustamisajankohta.

7.2

Sedimentin piileväanalyysi

Pyhäjärven sedimentin piileväanalyysillä pyrittiin selvittämään eri näytepisteiden eroavaisuuksia sekä järven kehityshistoriaa. Jokaisessa pisteessä pyrittiin tutkimaan piilevänäytteitä ajalta ennen kaivostoiminnan alkamista ja asutuksen lisääntymistä, jotta saataisiin selville kaivoksen ja asutuksen aiheuttamia muutoksia järven veden laatuun. Pyhäjärven piileväpreparaatit tehtiin kahden senttimetrin välein aina 30 cm syvyydelle asti jokaisessa näytepisteessä.

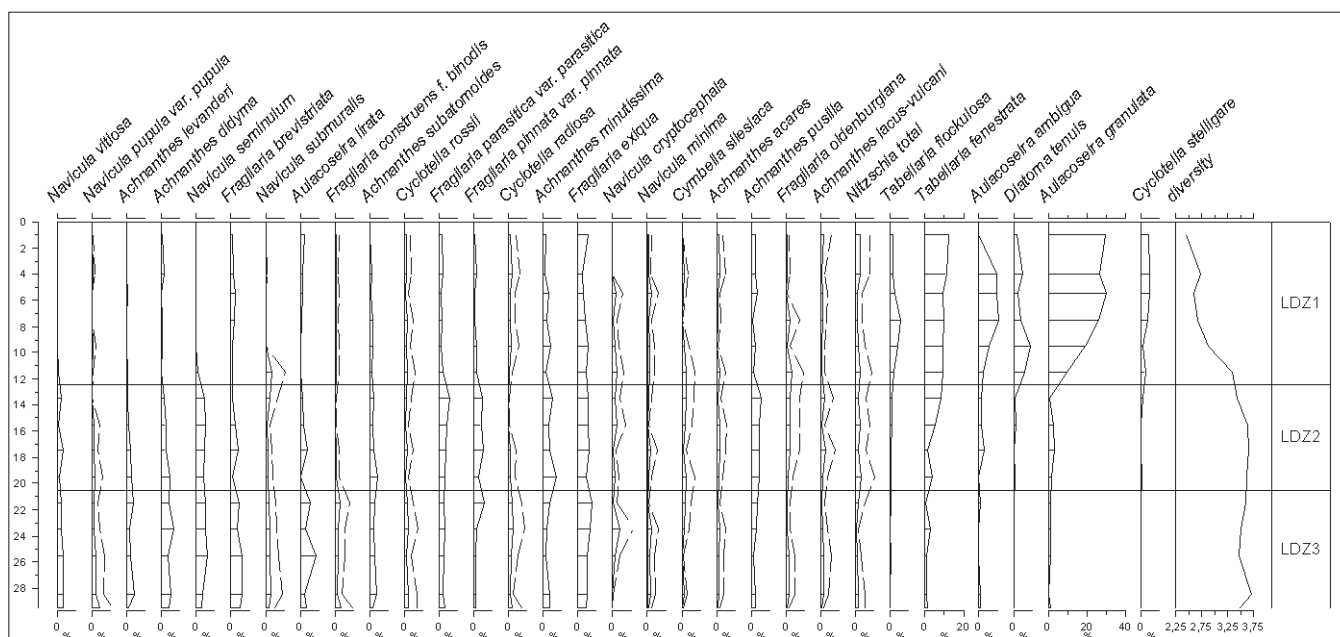
Junttiselän ja Kirkkoselän sedimenttinäytteistä analysoitiin eri syvyyksiltä piilevälaajisto. Piileväkuvaajissa piilevät on järjestetty niiden runsaudella painotetun keskimääräisen esiintymissyvyyden mukaan, jolloin on saatu paremmin selville

lajistomuutokset ja nähdään, mitkä piilevälajit ovat olleet runsaimpia eri vaiheissa (kuvat 23 ja 26). Piilevät on jaettu tsooneihin eri syvyyksissä (0–12,5 cm, 12,5–20,5 cm ja 20,5–30 cm). Kuvaajissa on esitetty 30 eniten esiintynyttä piilevää. Kuvaajiin on lisätty myös diversiteettikäyrä kyseiselle näytepisteelle. Lisäksi klusterianalyysin avulla on etsitty samanlaisia piilevien ajanjaksoja stratigrafisesta aineistosta.

Näytepisteessä P1 on havaittavissa kolme erilaista, paikallista piilevätsoonia (kuva 23). Pohjimmaisessa tsoonissa (LDZ3) lajisto on runsasta ja koostuu pH-neutraaleista ja indifferenteistä lajeista, kuten *Achnanthes*-suvun edustajista (mm. Weckström 2001, Huttunen & Turkia 1994). Joukossa on myös alkafiilisiä lajeja, jotka suosivat hieman emäksisiä olosuhteita (mm. *Fragilaria construens* f. *binodis*). Kyseiset lajit vähenevät mentäessä kohti LDZ2:sta. Tämä viittaisi järven olleen pH-neutraalia sinä aikana, kun kyseiset sedimenttikerrokset ovat kerrostuneet. LDZ3:ssa on myös runsaasti pH-indifferenttejä piilevälajeja, jotka esiintyvät läpi sedimenttisarjan. Runsaasta lajistosta johtuen piilevälajiston diversiteetti on korkea LDZ3:ssa.

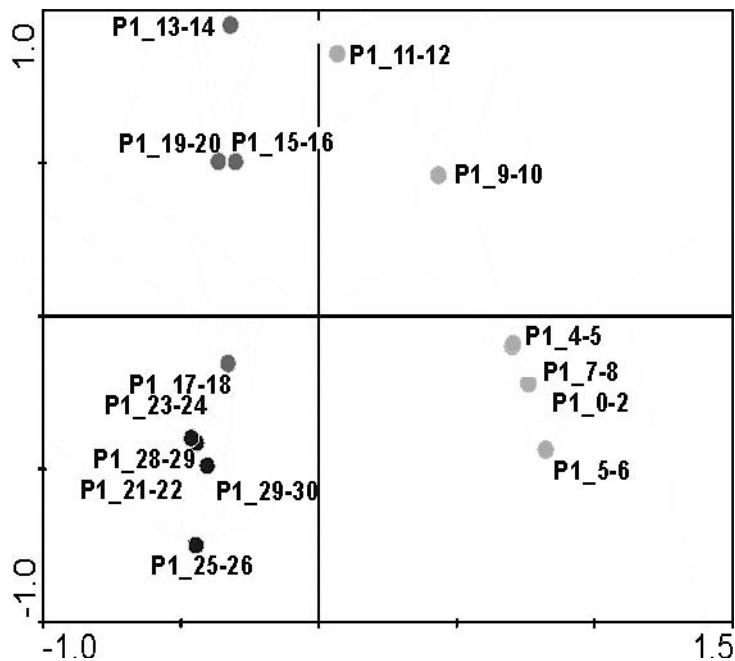
LDZ2:n vaihtuessa syvyydellä 20,5 cm (näytepiste P1) lajistossa tapahtuu pieniä muutoksia. Lajimäärä pysyy edelleen korkeana. Suurimpana muutoksena on lajien, kuten *Aulacoseira ambigua* ja *A. granulata*, esiintyminen. Kyseiset lajit suosivat runsasravinteisia oloja (Kauppila 2006, Lepistö 1988).

Selvin muutos näytepisteessä P1 tapahtuu syvyydellä 12,5 cm. Pohjimmaisessa kerroksessa esiintyvät lajit häviävät lähes kokonaan ja lajit, kuten *Aulacoseira granulata* ja *Tabellaria tenuis* lisääntyvät voimakkaasti. Tällä syvyydellä piilevälajisto yksipuolistuu ja rehevyydelle tunnusomaiset lajit lisääntyvät merkittävästi. LDZ1:stä hallitsevat lajit eivät poikkea pH-optimiltaan merkittävästi muista lajeista. Ainoana poikkeuksena on *Tabellaria flocculosa*, joka on happamia oloja suosiva laji (Van Dam ym. 1994). Ylimmässä piilevätsoonissa esiintyy rinnakkain happaman veden suosimaa *Tabellaria flocculosaa* sekä pH-neutraalin veden planktisia *Aulacoseira*-suvun edustajia. Tämä voi selittyä *Tabellaria flocculosan* lisääntymisenä pH-piikin aikana ja *Aulacoseira*-suvun lisääntymisenä pH-piikin tasoittuessa (Weckström 2001). Happamuuspiikin aikana keväisin piilevien tuotanto ei ole vielä huipussaan, jolloin happamia oloja suosivat lajit eivät esiinny merkittävästi.

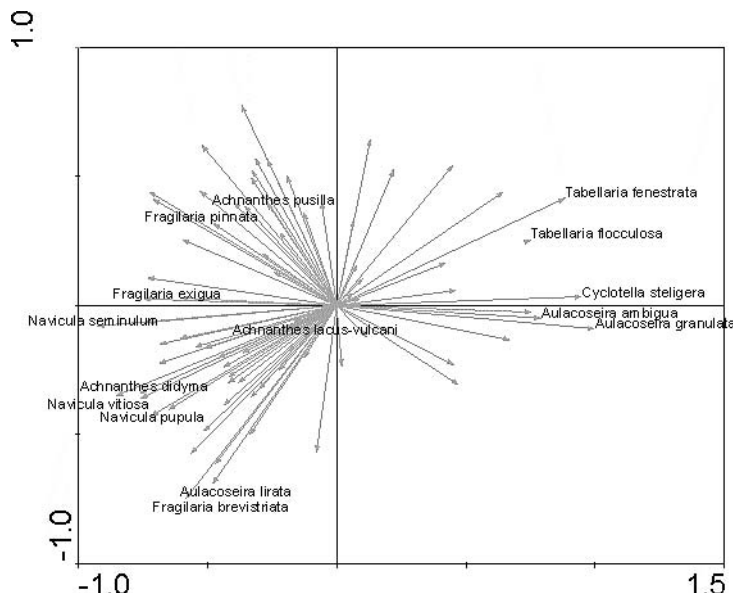


Kuva 23. Piilevädiagrammi Junttisälän näytepisteestä P1. Kuvassa ovat eniten esiintyvät piilevälajit. Katkoviivat ovat 3-kertaistettuja prosentuaalisia osuuksia.

Klusterianalyysin avulla tehdyissä, pääkomponenttianalyysin tuloksia havainnollistavissa PCA-kuvaajissa (kuvat 24 ja 25) on esitetty näytepisteen P1 näytesyvyyydet ja tärkeimmät esiintyvät lajit. PCA-kuvaajista nähdään eri näytesyvyyksien eroavuus toisistaan, sekä se, mitkä lajit ovat tärkeimpänä tekijänä näytesyvyyksien eroavuuksissa. Mitä lähempänä näytteet ovat toisistaan PCA-kuvaajassa, sitä vähemmän ne eroavat lajistoltaan toisistaan. Näytepisteessä P1 on havaittavissa pintaosien näytteiden samankaltaisuus. Seuraavat syvyydet ovat hajallaan toisistaan, kun taas pohjimmaiseta näytteet sijoittuvat toistensa lähelle. Kuvista on havaittavissa myös lajiston yksipuolistuminen, vain muutamia lajeja on pintaosan näytteissä.



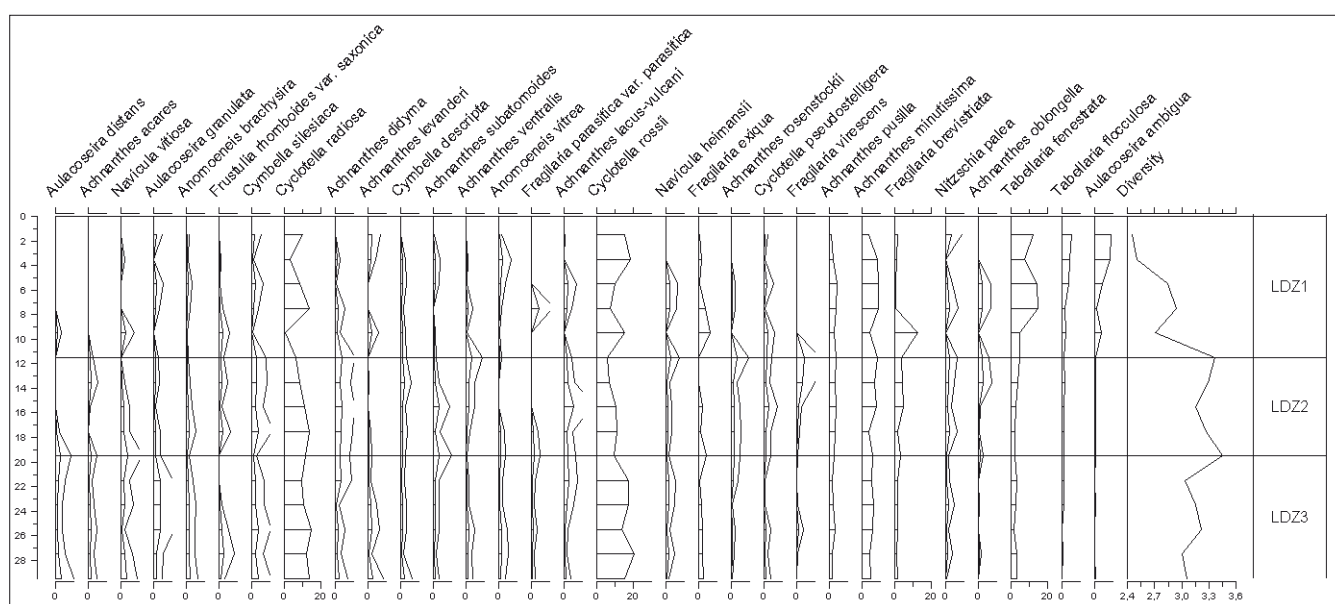
Kuva 24. PCA-kuvaaja näytepisteen P1 näytesyvyyksistä. Mustat pallot edustavat LDZ 3 näytteitä, tumman harmaat pallot LDZ 2 näytteitä ja vaaleimmat pallot LDZ 1 näytteitä.



Kuva 25. PCA-kuvaaja pisteen P1 piilevälajistosta.

Siirtyminen LDZ2:sta LDZ1:een tapahtuu näytepisteessä P1 syvyydellä 12,5 cm. Geokemian tuloksista nähdään syvyydellä 12,5 selvä sinkin ja kuparin äkillinen kohoaminen. Tämä kohoaminen indikoi kaivoksen toiminnan alkamisajankohtaa. Näin ollen voidaan todeta, että kaivoksen aloittaessa toimintansa, piilevälajisto on muuttunut samaan aikaan merkittävästi Junttiselällä. Piilevälajiston diversiteetti on vähentynyt kaivoksen toiminnan alkamisen jälkeen ja rehevyyteen viittaavat lajit ovat lisääntyneet merkittävästi. Syvemmissä sedimenttikerroksissa tapahtunutta diversiteetin vähenemistä ja edellä mainittujen lajien vähäistä esiintymistä voidaan selittää ihmistoiminnan, kuten maatalouden ja maanmuokkauksen, lisääntymisenä alueella. Kuitenkin selvin muutoskohta on tapahtunut kaivoksen tulon aikoihin vuonna 1962. Vaikka Pyhäjärven Junttiselän viimeaikainen huolenaihe on ollut alhaalle painunut pH, ei tutkituista piilevistä löydy merkittävää pH:n muutosta. Vaikka piilevät reagoivat nopeasti muuttuviin ympäristöolosuhteisiin, ovat pH:n muutokset olleet niin nopeita ja lyhytaikaisia, ettei niitä havaita piilevien avulla. pH:n vaihtelut sijoittuvat myös keväälle jäiden sulamisen aikaan, jolloin piilevien tuotanto ei ole huipussaan. Näin ollen tutkitussa aineistossa ei nähdä merkkejä pH:n muutoksista. Piilevälajistoa on tutkittu joka toiselta senttimetriltä, jolloin yhteen näytepreparaattiin on tullut ainakin kahden vuoden piilevät. Tämän seurauksena ei tutkituilla piilevillä voida havaita äkillisiä ja lyhytkestoisia muutoksia veden laadussa.

Junttiselän näytepisteen P2 tulokset ovat pitkälti samansuuntaisia pisteen P1 kanssa. Kirkkoselän vertailunäytepisteessä (P3) ei tapahdu piilevien osalta niin suuria muutoksia kuin Junttiselän puolella (kuva 26). Kuitenkin samanlaisia muutoskohtia on havaittavissa Junttiselän ja Kirkkoselän näytepisteiden välillä. Näin ollen Junttiselällä tapahtuvat muutokset näkyvät myös Kirkkoselän puolella. Piilevien diversiteetti pienenee myös Kirkkoselällä sedimentin pintaosissa rehevien vesien lajien lisääntymisen seurauksena. Muutos ei kuitenkaan ole niin suurta kuin Junttiselällä, mutta kyseessä ovat samat lajit kuin Junttiselällä. Huomionarvoista on karujen vesien piilevien, *Cyclotella rossiin* ja *C. radiosan*, suuri esiintyvyys koko näytesarjan alueella (Kauppila ym. 2002). Myös muiden karun vesistön piirteitä indikoivien lajien esiintyminen koko näytesarjan alueella viittaa vähemmän reheviin olosuhteisiin. Näytepisteessä P3 ei ole havaittavissa selviä piilevien avulla nähtäviä pH:n muutoksia. Näytteessä esiintyy rinnakkain happamia olosuhteita suosivia lajeja ja neutraalin pH:n lajeja.



Kuva 26. Piilevädiagrammi Kirkkoselän näytepisteestä P3. Kuvassa ovat eniten esiintyvät piilevälajit. Katkoviivat ovat 3-kertaistettuja prosentuaalisia osuuksia.

Selvin muutos näytepisteessä P3 tapahtuu syvyydellä 12,5 cm (kuva 26). Tällä syvyydellä sinkkipitoisuus lähtee kasvamaan. Piilevälaajiston selvä muutos ja metallipitoisuuksien nousu on todennäköisesti seurausta kaivostoiminnan alkamisesta (v. 1962). Junttiseltään johdetut jätevedet ovat saattaneet virrata Kirkkoselän puolelle kevään ylivirtaaman aikana, tai kun tuuli puhaltaa vesiä pohjoisesta etelään päin. Myös aikoinaan Kirkkoselkään kaivokselta johdettu sinkkipitoinen jätevesi voi olla osasyys piilevälaajiston muuttumiseen. Vähäisemmät lajistomuutokset Kirkkoselällä voivat olla myös seurausta Kirkkoselän altaan suuremmasta koosta.

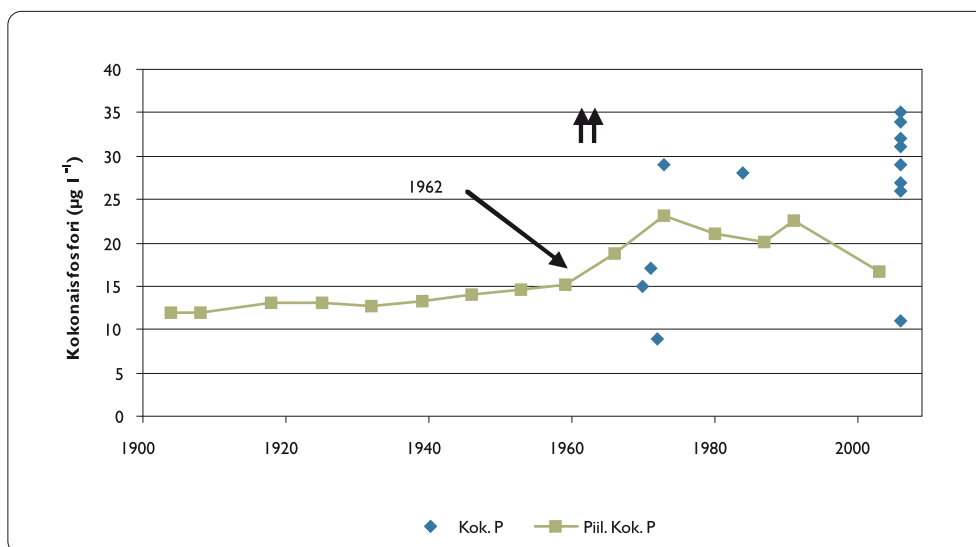
Rehevyystason rekonstruointi

Jokaisesta Pyhäjärven sedimenttinäytepisteestä on laskettu piileviin perustuvan kalibrointiaineiston (Kauppila ym. 2002) avulla järnveden kokonaisfosforipitoisuus eri näytesyvyyksille. Vedenlaatuaineisto on sijoitettu oikealle sedimenttisyvyydelle geokemian ja cesium-137-ajoituksen antaman vuosittaisen kerrostumisnopeuden mukaan. Kuviin on merkitty kokonaisfosforipitoisuuden kehitys piilevien avulla laskettuna, sekä saatavilla ollut vedenlaatuaineisto. Vedenlaatuaineistosta on poistettu talvikuukausien fosforipitoisuudet.

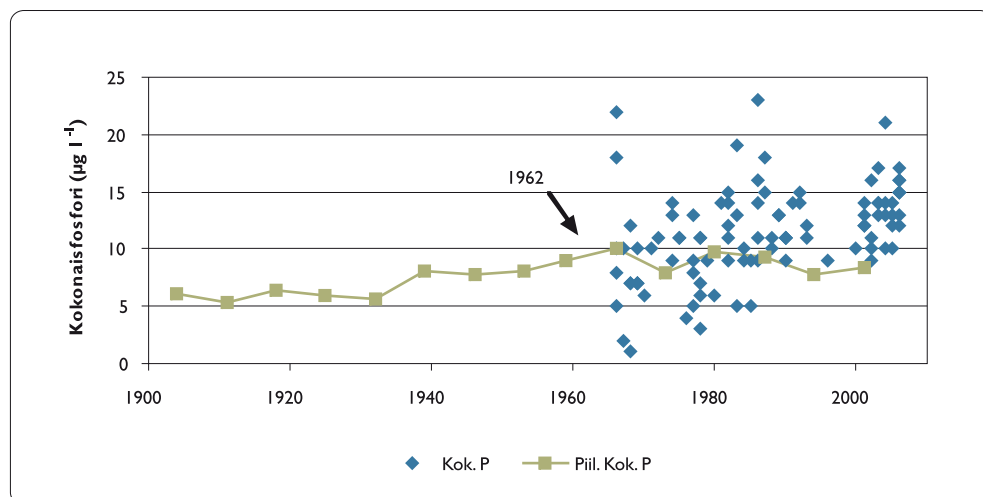
Kuvassa 27 on esitetty fosforipitoisuuden kehitys Junttisellä pisteessä P1. Sen mukaan 1900-luvun alussa Junttisellä voidaan luokitella olleen karu fosforipitoisuuden ollessa 11–14 $\mu\text{g l}^{-1}$ (Eloranta 1997). 1960-luvun alussa fosforipitoisuus on lähtenyt nousemaan selvästi ja Junttisellä on muuttunut luokitukseltaan reheväksi. Rehevyyden selvä kasvu ajoittuu kaivoksen toiminnan aloittamisen ajankohtaan sekä muun ihmistoiminnan ja kuormituksen voimistumiseen. Korkeimmillaan fosforipitoisuudet ovat olleet 1970-luvulla. Myös vuoden 1936 Pyhäjärven pinnan lasku näkyy lievänä rehevyyden kasvuna. P2 pisteessä rehevyystaso näyttäisi mukailevan P1:n trendiä. Nykyään Junttisellä luokitellaan reheväksi.

Kirkkoselän näytepisteen P3 kokonaisfosforipitoisuudet on esitetty kuvassa 28. 1900-luvun alussa Kirkkoselkää voidaan luokitella karuksi. 1960- ja 1970-luvuilla myös Kirkkoselän rehevyystaso on noussut, mutta ei kuitenkaan yhtä selvästi kuin Junttisellä. Nykyisin Kirkkoselkää luokitellaan lievästi reheväksi.

Pyhäjärven rehevöitymiskehityksestä on saatu samansuuntaisia tuloksia aikaisemminkin (Heinonen & Hongell 1985). Junttisellä on aiempien tutkimusten perusteella luokiteltu lievästi rehevöityneeksi, kun taas Kirkkoselän vesi on luokiteltu karuksi.



Kuva 27. Näytepisteen P1 kokonaisfosforipitoisuudet piilevien avulla laskettuna (Piil. Kok. P) sekä vedenlaatuaineistosta saadut fosforipitoisuudet.



Kuva 28. Näytepisteen P3 kokonaisfosforipitoisuudet piilevien avulla laskettuna (Piil. Kok. P), sekä vedenlaatuaineistosta saadut fosforipitoisuudet.

Piilevillä tehty kokonaisfosforipitoisuuden rekonstruktio antaa jokaisessa Pyhäjärven näytepisteessä hieman pienempiä pitoisuuksia kuin saatavilla oleva vedenlaatuaineisto.

Piilevien ja ympäristömuuttujien välinen yhteys

Piilevien avulla on myös tutkittu, onko lajistomuutosten ja ympäristömuuttujien välillä yhteyttä. Tätä varten PCA-kuvaajien avulla on tarkasteltu jokaisen näytepisteen piilevälajiston ja geokemian antamien tuloksien yhteyttä. Geokemiasta on tarkasteltu hiili-, nikkeli-, fosfori-, kalium-, sinkki-, kupari- ja rikki-pitoisuuksia. Mukaan on myös otettu C/N suhde sekä Fe:Mn suhde. PCA-kuvaajiin on sijoitettu piilevänäytteiden tulokset eri syvyyksiltä sekä mitattujen ympäristömuuttujien tulokset ja tutkittu tämän perusteella, onko lajistomuutosten ja ympäristömuuttujien välillä yhteyttä. Eri ympäristömuuttujien vaikuttavuutta on lisäksi testattu, jotta saataisiin selville, mitkä ympäristömuuttujat ovat tilastollisesti merkitseviä. Ympäristömuuttujat on testattu sekä yksitellen (ns. marginaaliset vaikutukset), että muiden muuttujien aiheuttamat vaikutukset huomioiden (ns. konditionaaliset vaikutukset). Konditionaalisia vaikutuksia testattaessa lasketaan ensin pois muiden muuttujien vaikutus lajistoon. Tässä työssä on käytetty kolmea eri muuttujaa selvittäessä konditionaalisia vaikutuksia: K, C/N ja Cu (taulukko 8). Kaliumilla (K) on pyritty selvittämään muun muassa peltoeroosion vaikutusta. C/N suhteella on pyritty selvittämään rehevyyden merkitystä piilevälajiston koostumukseen ja kupari (Cu) indikoi kaivoksen vaikutusta vesistössä.

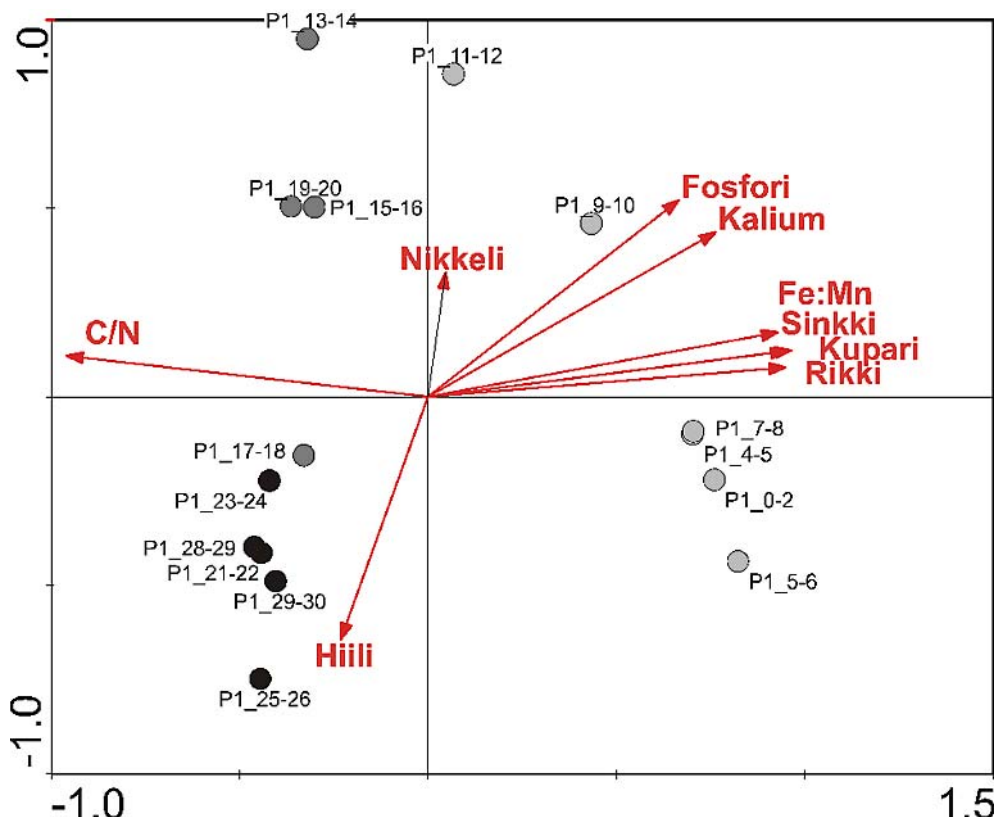
Junttiselän näytepisteistä P1 ja P2 voidaan havaita samansuuntaisia tuloksia tarkasteltaessa lajistomuutosten ja ympäristömuuttujien välistä yhteyttä. Kuvassa 29 on PCA-kuvaaja Junttiselän näytepisteestä P1. Näytesyvytydet on jaettu samoihin piilevätsooneihin kuin edellä piileväkuvaajissa. Pysty akselin oikealla puolella on pinnanpuoleiset näytesyvytydet ja vasemmalla puolella pohjimmaiseta näytesyvytydet. Kuvaajasta näkyy selvästi eri kerrossyvytyksien välinen erilaisuus, sillä ne sijoittuvat kuvaajan eri puolille. Pisteessä P1 marginaalisista vaikutuksista C/N, Fe:Mn, S, Cu ja Zn ovat tilastollisesti merkitseviä. Konditionaalisista vaikutuksista C/N ja Cu vaikutus erottuu K:n vaikutuksesta. Sinkki-, kupari- ja rikki-pitoisuudet ovat korkeita ensimmäisessä tsoonissa kuvaajan oikealla puolella (P1 ja P2). Tämä voi olla yhtenä syynä piilevälajiston koostumukseen. Sedimentin hiilen ja typen suhdeluku C/N indikoi vesistön rehevyyttä. Näytepisteissä P1 ja P2 C/N suhdeluku on korkeampi pohjimmaisissa näytteissä, mikä indikoi järven oligotrofista tilaa. Näin ollen ylimmässä tsoonissa (LDZ1) rehevyystaso on noussut verrattaessa pohjimmaisiiin tsooneihin.

Pisteissä P1 ja P2 C/N suhde on merkittävä tekijä tarkasteltaessa piilevälajiston koostumusta. Tämän perusteella rehevyyden lisääntyminen järvestä olisi muuttanut piilevälajiston koostumusta.

Taulukko 8.

Eri ympäristömuuttujien marginaaliset ja konditionaaliset vaikutukset piilevälajiston koostumukseen. Tilastollisesti merkitsevät yhteydet on merkitty lihavoituina.

Marginaaliset vaikutukset						
Muuttuja	P1		P2		P3	
	selitys %	p-arvo	selitys %	p-arvo	selitys %	p-arvo
P	37,6	0,214	41	0,001	16,4	0,091
C	7,6	0,603	40,3	0,001	22,1	0,029
K	48,4	0,028	13,7	0,269	20,7	0,001
C:N	74	0,001	28,9	0,001	26,1	0,001
Fe:Mn	69,6	0,001	43,3	0,001	20,9	0,001
S	72,5	0,001	6,8	0,766	16	0,303
Cu	74,9	0,001	47,1	0,001	28,4	0,001
Zn	73,2	0,001	41,4	0,127	18,6	0,001
Ni	1,6	0,911	6,3	0,68	27,5	0,001
Konditionaaliset vaikutukset (selitysprosentti on laskettu jäljelle jääneestä vaihtelusta kun muut muuttujat on ensin huomioitu)						
K (mineraaliaines)	10,5	0,138	3,1	0,82	12,6	0,135
C:N (rehevyys)	21,3	0,001	8,9	0,472	19,2	0,001
Cu (kaivosvaikutus)	13,2	0,035	24,2	0,216	17	0,035



Kuva 29. Näytepisteiden P1 PCA-kuvaaja.

Kirkkoselän näytepisteessä P3 on havaittavissa samansuuntaisia tuloksia kuin Junttisälän näytepisteissä. Hiili-typin suhde (C/N) on tärkeänä selittävänä tekijänä myös näytepisteiden P3 lajiston koostumuksessa. C/N suhde on suuri pisteen syvimmissä kerroksissa, mikä indikoi rehevyyden lisääntymistä sedimentin yläosia tarkasteltaessa. Konditionaaliset vaikutukset huomioitaessa C/N suhteella ja kuparilla on tilastollisesti vaikutusta näytepisteiden P3 piilevälaajiston koostumukseen. Nikkeli ja kupari ovat kasvaneet ensimmäisen tsoonin kerrostumissa. Tämän perusteella voidaan todeta kaivoksen vaikutuksen näkyvän myös pisteessä P3.

Jokaisessa näytepisteessä näkyvät selvät erot eri näytesyvyyksien välillä. Tarkasteltaessa ympäristömuuttujia nähdään kaivokselta peräisin olevien metallien olevan yhtenä tekijänä tarkasteltaessa piilevälaajiston muutoksia. Esimerkiksi pisteissä P1 ja P3 kupari kasvaa sedimentin pintakerroksia kohti. Näin ollen kuparin esiintymisellä voi olla merkitystä piilevälaajiston muutokseen. P1 ja P2 pisteissä Fe:Mn-suhde kasvaa pintakerroksia kohti, kun taas P3 pisteessä Fe:Mn-suhde lisääntyy syvissä kerroksissa. Suuri Fe:Mn-suhde voi kertoa sedimentin pelkistävästä olosuhteesta, joka puolestaan voi olla merkinä järven rehevöitymisestä (Kauppila ym. 2006). Jokaisessa näytepisteessä C/N-suhde on merkittävänä tekijänä piilevälaajiston muutoksissa. Näin ollen rehevyyden lisääntyminen järvessä voi olla merkittävä tekijä piilevien lajistomuutoksissa.

PCA-kuvaajia tarkasteltaessa on vaikeaa erottaa rehevöitymisen ja kaivoksen vaikutusta toisistaan, sillä molempien merkitsevyys on samaa luokkaa. Näin ollen ei varmuudella pystytä sanomaan, onko piileväkoostumus muuttunut kaivoksen toiminnan aloittamisen seurauksena vai onko se johtunut rehevyyden lisääntymisestä.

7.3

Johtopäätökset

Pyhäjärven sedimenttitutkimuksissa havaittiin selvä piilevälaajiston muutos jokaisessa näytepisteessä. Selvimmin muutos näkyi juuri Junttisälän alueen näytepisteissä. Piilevälaajiston diversiteetti on vähentynyt ja samalla rehevyyttä suosiva lajisto on lisännyt merkittävästi osuuttaan. Lajiston muutosajankohdan ja ympäristömuuttujien vaikutusten perusteella voidaan sanoa piilevälaajiston muuttuneen kaivoksen toiminnan alkamisen jälkeen. Selvimmin muutos näkyy Junttisälän puolella, mutta jossain määrin myös Kirkkoselän puolella. Tämän tutkimuksen perusteella ei voida sanoa varmuudella, onko piileväkoostumus muuttunut kaivoksen toiminnan aloittamisen seurauksena vai onko muutos johtunut rehevyyden lisääntymisestä.

Piilevälaajistosta ei pystytty selvästi toteamaan veden happamoitumistilanteen muutoksia. Piilevien avulla pystyttiin rekonstruoimaan paremminkin järven rehevyyden kehitystä. Järven rehevyys on lisääntynyt 1900-luvun alusta. Junttisälkä on rehevöitynyt nopeammin kuin Kirkkoselkä. Rehevyyden kehityksessä on havaittavissa nopeutuminen 1930-luvulla ja 1960-luvulla.

Eri ihmistoimintojen vaikutusta on vaikeaa arvioida Pyhäjärven ja Junttisälän tilan kehitystä tarkasteltaessa. Vaikeutena on erottaa kaivoksen vaikutus muun ihmistoiminnan lisääntymisen vaikutuksista samaan aikaan. Selvää on kuitenkin, että Junttisälkä on muuttunut ihmistoiminnan myötä luonnontilasta huonompaan suuntaan. Tämä näkyy rehevöitymiskehityksen nopeutumisena ja metallien kertymisinä järven pohjan sedimentteihin.

8 Junttiselän kuormittajat

Susanna Airiola, Heidi Sunnari, Marja-Leena Heikkinen ja Mikko Tolkkinen

Junttiselkää kuormittavat lähinnä kaivoksen ja Pyhäjärven kaupungin jätevedenpuhdistamon jätevedet, hajakuormitus valuma-alueelta, Kirkkoselältä tuleva kuormitus sekä luonnollisista tekijöistä aiheutuva kuormitus. Seuraavassa on arvioitu ilmalaskeuman ja lumen sulamisvesien vaikutusta Junttiselän happamuustasoon ja metallipitoisuuksiin. Lisäksi on tarkasteltu Pyhäsalmen ja Mullikkorämeen kaivosten sekä vanhan viemärilaitoksen ja uuden jätevedenpuhdistamon kuormitustarkkailun tuloksia. Kuormitustarkastelun lopuksi on esitetty arvio Junttiselän hajakuormituksen aiheuttamasta ravinnekuormituksesta sekä sisäisestä kuormituksesta.

8.1

Pyhäjärven alueen ilmalaskeuma

Pyhäjärvellä on tehty ilmansuojeluun liittyviä selvityksiä ensimmäisen kerran vuonna 1987 Pyhäsalmen kaivoksen läheisyydessä. Tutkimuksessa selvitettiin muun muassa kaivoksen jätealueen ja rikastamon lähialueen laskeumia. Tulosten mukaan rikkipitoisuudet kaivoksen ympäristössä olivat noin 3-kertaisia ja rautapitoisuudet 6-kertaisia tausta-alueen pitoisuuksiin verrattuna. Rikki- ja rautapitoisuudet vähenivät selvästi siirryttäessä kauemmas kaivoksesta. Selvityksen mukaan kaivoksen lähialueella oli myös havaittavissa maaperän happamuutta ja raskasmetallipitoisuuksien lisääntymistä. Syyksi selvityksessä todettiin kaivoksen rikastamon savukaasu- ja hiukkaspäästöt sekä kaivosalueen pölyäminen. Myös jätealueelta valuneet vedet ovat vaikuttaneet maaperän saastumiseen (Koskela 1990). Räisäsen (1995) mukaan Pyhäsalmen kaivosalueen korkeat metallipitoisuudet ovat osaltaan luonnollisistakin syistä korkeita ja johtuvat kallioperässä olevasta sulfidipuhkeamasta.

Uusin ilmansaasteiden tutkimus Pyhäjärven alueelta on valmistunut vuonna 1990. Sen mukaan Junttiselän alueella on lievästi kohonneita rikkipitoisuuksia. Kuitenkin pitoisuudet sijoittuvat normaaliin vaihteluväliin ja laskeumat ovat todennäköisesti kaukolaskeumana tulleita (Huttunen ym. 1985, Koskela 1990). Pyhäjärven alueen rikkipitoisuudet eivät ole poikkeuksellisia verrattaessa muun muassa lähiseudun muihin kuntiin. Ainoa alue, jossa rikkipitoisuus on selvästi kohonnut, on Pyhäsalmen kaivoksen lähialue. Muualla Pyhäjärven kaupungin alueella rikkipitoisuudet ovat normaalin taustapitoisuuden tasolla (Koskela 1990).

Vesihallituksen suorittamassa sadevedenlaadun seurannassa vuosina 1971–1977 ei Pyhäjärven havaintopisteestä havaittu muusta maasta poikkeavia tuloksia. Keskimääräinen pH-arvo Pyhäjärven havaintopisteessä vuosina 1971–1977 oli Suomen keskiarvoa (4,6) suurempi. Arvo Pyhäjärvellä oli 5,0. Keskimääräinen sulfaattilaskeuma Pyhäjärvellä vuosina 1971–1977 oli 172 mg/m²/kk, mikä on Suomen keskiarvoa matalampi (Koskela 1990). Näiden tulosten perusteella voidaan Pyhäjärven happamien laskeumien olettaa olevan paikallisia, lähinnä kaivoksesta ja taajaman liikenteestä peräisin olevia.

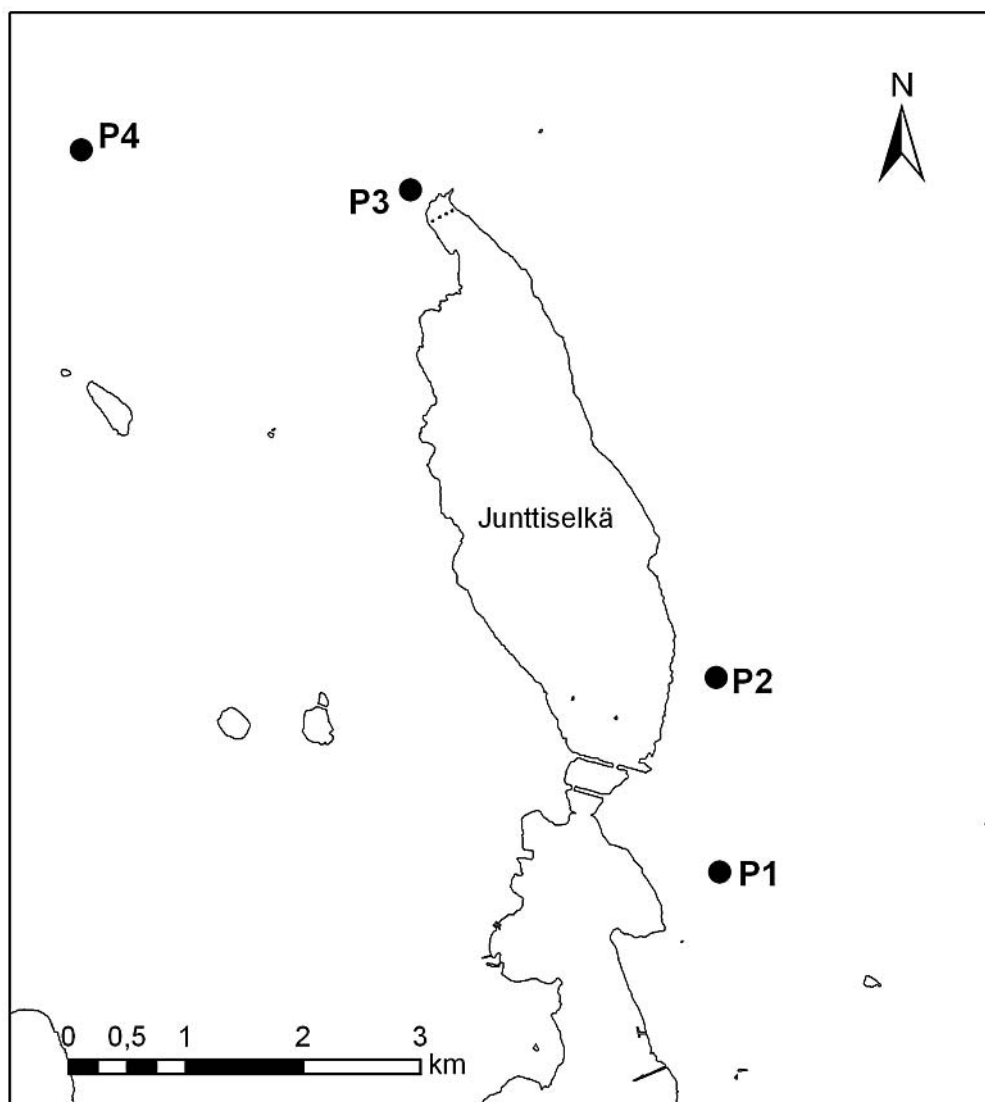
8.2

Pyhäjärven alueen lumen pH ja metallipitoisuudet

Pyhäjärven alueelta otettiin keväällä 2007 neljästä eri pisteestä luminäytteet (kuva 30), joista määritettiin pH ja metallipitoisuuksia (Al, Cu, Fe, Ni, Pb, SO₄, Zn). Tällä tutkit-

tiin lumen sulamisvesien vaikutusta Junttiselän happamuuteen ja metallipitoisuuksiin. Lumesta saatuja pitoisuuksia verrattiin Soverin & Peltosen (1996) "lumen laatu ja laskeuma vuosina 1976–1993" aineistoon. Saatuja lumiarvoja verrattiin lähimpänä sijaitsevan Pyhännän seurantapisteen tuloksiin.

Tulosten mukaan Pyhäjärven alueen lumen pH-arvot olivat alueen keskimääräistä pitoisuutta hieman korkeampia. Lumesta määritettyjen metallien, lukuun ottamatta rautaa, pitoisuudet olivat alhaisempia kuin vertailuaineistossa (taulukko 9). Raudan-kin osalta ainoastaan näytepisteessä P1 pitoisuus oli hieman suurempi kuin alueella keskimäärin. Piste P1 sijaitsi kaivoksen ja jäteveden puhdistamon läheisyydessä. Muiden määritettyjen metallien osalta pitoisuudet olivat pienempiä kuin alueen keskimääräiset pitoisuudet. Alumiinipitoisuus oli hieman korkeampi kaivoksen läheisyydessä, mutta pieneni kauemmas mentäessä. Tämän tutkimuksen perusteella lumen sulamisvesillä ei pitäisi olla merkittävää vaikutusta Junttiselän happamuuteen ja metallipitoisuuksiin.



Kuva 30. Pyhäjärven alueen luminäytepisteet (P1–P4) 22.3.2007.

Taulukko 9.

Pyhäjärven alueen lumen pH ja metallipitoisuudet eri näytepisteillä 22.3.2007. Vertailuarvoina on esitetty Pyhännän seurantapisteen tulokset.

Näytepiste	pH	Al	Cu	Fe	Ni	Pb	SO ₄	Zn
	µg l ⁻¹	µg l ⁻¹	µg l ⁻¹	µg l ⁻¹	µg l ⁻¹	µg l ⁻¹	mg l ⁻¹	µg l ⁻¹
P1	5,5	12	< 1	83	< 1	1	< 0,5	< 10
P2	5,3	12	< 1	24	< 1	< 1	< 0,5	< 10
P3	5,5	7	< 1	17	< 1	< 1	< 0,5	< 10
P4	5,3	< 5	< 1	10	1	< 1	< 0,5	< 10
Pyhäntä 1976–1993	4,71	28,8	3,13	43,9	1,62	2,78	1,54	7,87

8.3

Kaivoksen ja jätevedenpuhdistamon aiheuttama kuormitus

Pyhäjärven Junttiseln merkittävimmät pistekuormittajat ovat Pyhäjärven kunnan vanha viemärlaitos, nykyinen jätevedenpuhdistamo sekä Inmet Mining Oy:n omistama Pyhäsalmen kaivos ja Outokumpu Mining Oy:n omistuksessa toiminut, suljettu ja jälkihoidettu, Mullikkorämeen kaivos.

Pyhäjärven kunnan vanha viemärlaitos toimi vuoteen 1986 asti. Se laski vetensä Keltunlammen kautta Parkkimajokeen, josta ne edelleen päätyivät Junttiselnkään. Nykyinen jätevedenpuhdistamo aloitti toimintansa vuonna 1986 ja sen toiminta jatkuu edelleen. Käsiteltyjen jätevesien purkuputki sijaitsee Junttiselnällä hieman Junttisynvän koillispuolella. Pääosin puhdistamo on täyttänyt Junttiselnkään laskettavalle jätevedelle asetetut lupaehdot, jotka ovat seuraavat:

- BOD₇ < 17,5 mg l⁻¹, teho > 90 %
- Kok. P < 1,0 mg l⁻¹, teho > 90 %
- NH₄-N < 6,0 mg l⁻¹, teho > 80 %

Pyhäsalmen kaivos on toiminut vuodesta 1962 lähtien. Kaivoksen prosessijätevedet ja kuivatusvedet johdetaan rikastushiekka- ja selkeytysaltaiden kautta Tiukupuroa pitkin Junttiselnkään. Mullikkorämeen kaivos toimi vuosina 1990–2000. Kaivoksen kuivatusvedet johdettiin Särkijärven ja Särkijoen kautta Junttiselnkään.

Junttiselnkään tulee kaivoksen ja jätevedenpuhdistamon lisäksi metalli- ja ravinnekuormitusta myös Parkkimajoesta, Särkijöesta, Kihonpurosta sekä Tikkalansalmen kautta Pyhäjärven Kirkkoselältä. Näistä lähteistä kertyvää kuormitusta ei ole tässä yhteydessä otettu huomioon. Valuma-alueelta tulevien vesien metallipitoisuuksia ja kuormittavuutta on arvioitu vedenlaatutarkastelun avulla.

Kuormitustiedot ja -laskelmat

Vanhan viemärlaitoksen, nykyisen jätevedenpuhdistamon, Pyhäsalmen kaivoksen ja Mullikkorämeen kaivoksen vesistökuormitustiedot on saatu ympäristöhallinnon VAHTI-tietojärjestelmästä. Taulukkoon 10 on koottu jätevedenpuhdistamojen ja kaivosten yhteenlaskettu kuormitus tarkkailutietojen perusteella.

Jätevedenpuhdistamot ovat aiheuttaneet Junttiselnälle lähinnä ravinne- ja kiintoainekuormitusta. Vanhan viemärlaitoksen Junttiselnälle aiheuttama ravinne- ja kiintoainekuormitus on ollut suurta, mutta tilanne on parantunut nykyisen jätevedenpuhdistamon rakentamisen (1987) myötä. Vanhan viemärlaitoksen lammikko-puhdistamona toiminut Keltunlampi näyttäisi vedenlaatutarkastelun perusteella edelleen kuormittavan Junttiselnkään.

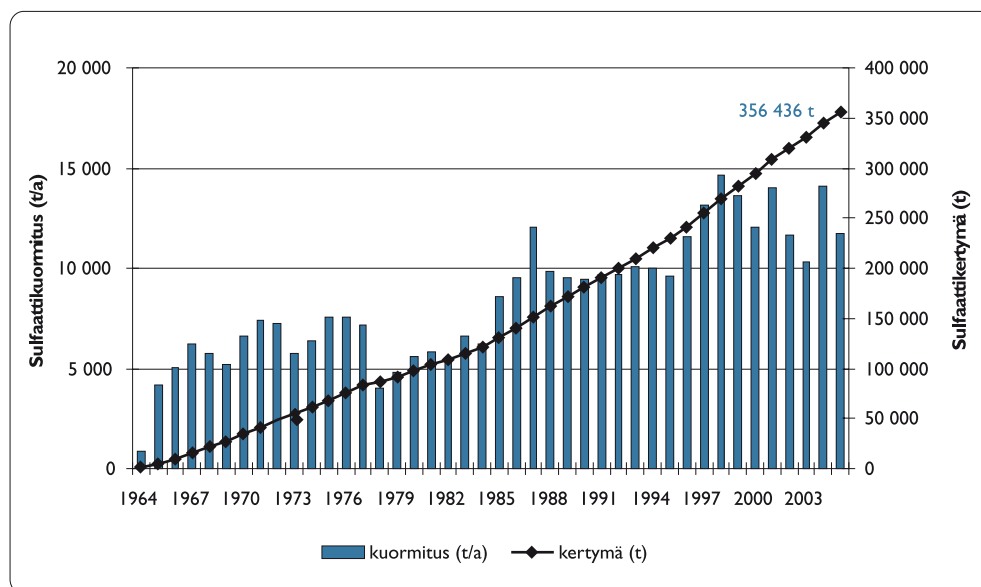
Pyhäsalmen kaivoksen metallikuormitus on ollut suurimmillaan 1970- ja 1980-luvuilla, nykyisin tilanne on kuitenkin huomattavasti parantunut. Nykyään kaivokselta tuleva jätevesi sisältää lähinnä sulfaattia, kalsiumia sekä kiintoainetta. Mullikkorämeen kaivos on aiheuttanut Junttisellä lähinnä sulfaattikuormitusta. Mullikkorämeeltä tulevaan kuormitukseen on kuitenkin suhtauduttava varauksella, luultavasti osa kuormituksesta on sedimentoitunut Särkijärveen, eikä ole koskaan päätynyt Junttiselle asti.

Seuraavassa on tarkasteltu raudan ja sulfaatin osalta vuosittaista kuormitusta sekä esitetty kumulatiivinen kuormituskertymä. Kuormituskertymään on laskettu edellisten vuosien sekä kuluvan vuoden kuormitukset yhteensä. Kuvaajat perustuvat lähinnä Pyhäsalmen kaivoksen kuormitustietoihin, sillä muiden lähteiden osuus kuormituksesta on hyvin pieni.

Raudan ja sulfaatin kulkeutumisesta on laskettu ainetaseita. Tasealueeksi on valittu Junttisellä ja laskenta alkaa vuodesta 1971. Pyhäsalmen kaivokselta tuleva Tiukupuro on taseen tulovirtaama ja Pyhäjoen luusuassa oleva pato menovirtaama. Tulovirtaaman ainemäärät on saatu suoraan kaivoksen kuormitustiedoista. Menovirtaaman ainemäärät on laskettu olemassa olevien virtaama- ja vedenlaatupitoisuuksien perusteella.

Pyhäsalmen kaivokselta tuleva sulfaattikuormitus on kasvanut melko tasaisesti (kuva 31). 1980-luvun lopulla ja 1990-luvun puolessavälissä kuormitus on kasvanut selkeimmin.

Taselaskennan perusteella kaivokselta tulevan sulfaatin määrä yhteensä vuosina 1971–2005 on ollut 323 000 t ja padolta poistuvan sulfaatin määrä samalla aikavälillä 393 000 t (kuva 32). Tämän perusteella yli 80 % poistuvasta sulfaatista on suoraan kaivoksen jätevedestä peräisin. 1990-luvun lopulla ja 2002 poistuvan sulfaatin määrä on ollut kuormitusta pienempi. Tällöin sulfaattia on kertynyt Junttiselle. Kertymistä on tapahtunut luultavasti myös muina vuosina, sillä muita kuormitustekijöitä, kuten hajakuormitusta ja Kirkkoselältä tulevaa sulfaattikuormitusta, ei ole tässä laskennassa otettu huomioon.

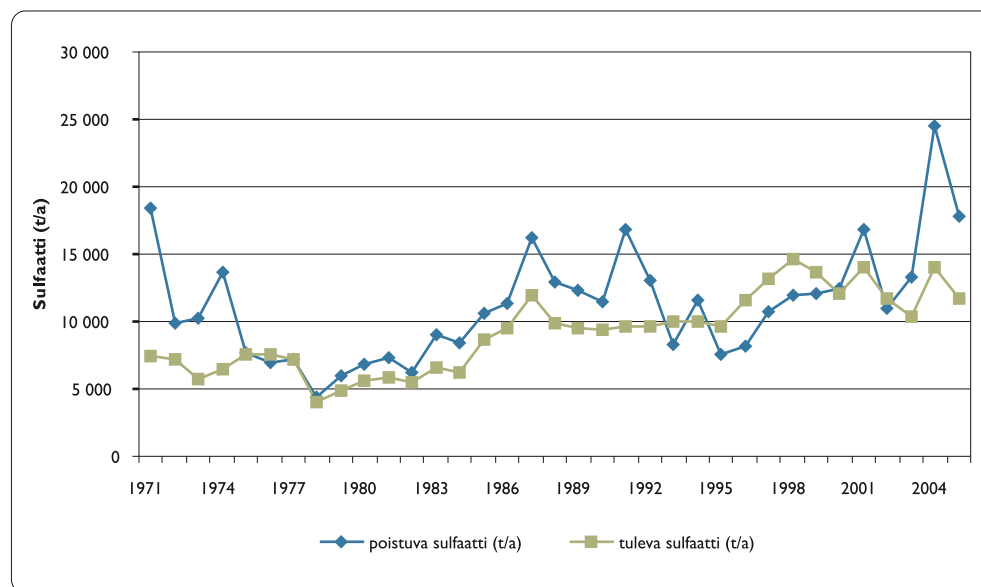


Kuva 31. Junttisellä sulfaattikuormitus ja kertymä tonneina (1962–2005).

Taulukko 10.

Nykyisen jätevedenpuhdistamon, vanhan viemärilaitoksen, Mullikkorämeen kaivoksen sekä Pyhäsalmen kaivoksen yhteenlaskettu kuormitus.

	JVP, nykyinen (1987–2005)	Vanha viemärilaitos (1971–1986)	Mullikkorä- meen kaivos (1990–2000)	Pyhäsalmi Mine (1964–1994)	yht. (kg tai m ³)
ammoniumtyppi (kg)	77 346				77 346
BOD ₇ (kg)	18 150	219 981			238 131
BOD ₇ ATU (kg)	138 133				138 133
COD, dikromaatti (kg)	284 745		116 319	5 287 911	5 688 975
kiintoaine (kg)	296 265		408 731	1 381 131	2 086 126
kokonaisfosfori (kg)	10 886	19 322			30 207
kokonaistyyppi (kg)	202 085	111 979			314 064
jätevesimäärä (m ³)	3 756 356				3 756 356
COD-Mn, hapan (kg)				1 958 647	1 958 647
elohopea (kg)				61	61
kalsium (kg)				131 613 415	131 613 415
kadmium (kg)			4	403	407
kupari (kg)			71	15 673	15 744
lyijy (kg)			5	234	239
mangaani (kg)			1 510	5 119	6 629
rauta (kg)			303	222 544	222 847
sinkki (kg)			3 640	71 196	74 836
sulfaatti (kg)			458 693	356 436 341	356 895 034
jätevesimäärä (kaivos) (m ³)			6 716 402	241 253 489	247 969 891



Kuva 32. Junttisälän sulfaattitase.

Raudan vuosittaiset kuormitusmäärät ovat vaihdelleet voimakkaasti ja kuormitus on kasvanut aina 1970-luvulta lähtien (kuva 33). Viime vuosina raudan kuormitus näyttäisi vähentyneen merkittävästi.

Taselaskennan perusteella vuosina 1971–2005 Junttiselältä poistui rautaa 2894 t (kuva 34). Kaivokselta tullut rautamäärä samalla ajanjaksolla oli 214 t. Kaivoksen osuus menovirtaaman rautamäärästä on siis vain noin 7 %. Suuret rautapitoisuudet johtunevat muista kuormituslähteistä.

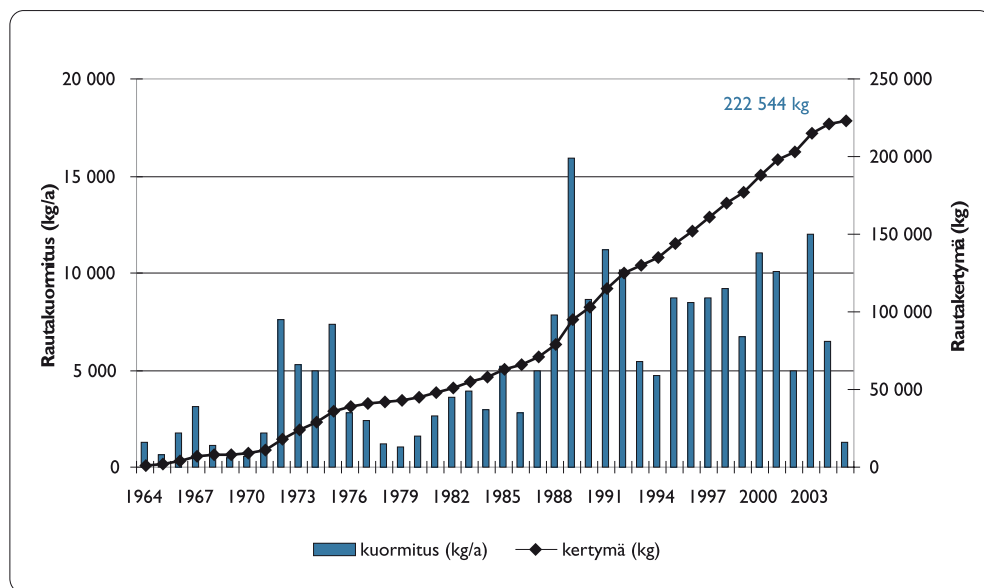
8.4

Valuma-alueelta tuleva ravinnekuormitus

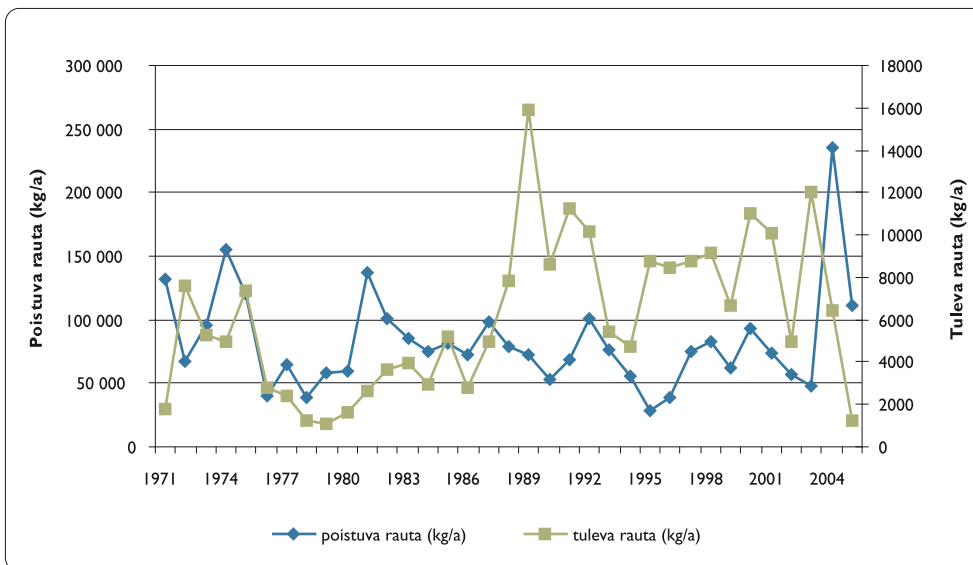
Airiola (2000) on tehnyt arvion Junttiselän ravinnekuormituksesta. Arvio sisältää Junttiselän lähivaluma-alueelta, Parkkimajoen valuma-alueelta ja Särkijoen valuma-alueelta tulevan fosfori- ja typpikuormituksen. Fosforin osalta on otettu huomioon myös Tikkalansalmen kautta tuleva ravinnekuormitus. Valuma-alueen kuormitusta laskettaessa on käytetty fosforin ja typen ominaiskuormituslukuja eri maankäyttömuodoille. Maankäyttöaineistojen (Maanmittauslaitoksen SLAM3-tietokanta) sekä karttatarkastelujen perusteella on arvioitu eri maankäyttöluokkien osuus valuma-alueesta.

Kuvissa 35 ja 36 on esitetty kokonaisfosforin ja -typen kuormituksen jakautuminen eri lähteisiin. Esitetty kuormitus sisältää Junttiselän lähivaluma-alueelta, Parkkimajoen valuma-alueelta ja Särkijoen valuma-alueelta tulevan kuormituksen. Mikkola & Pakkala (1997) ovat arvioineet Tikkalansalmesta tulevaksi fosforikuormitukseksi 1498 kg P a^{-1} .

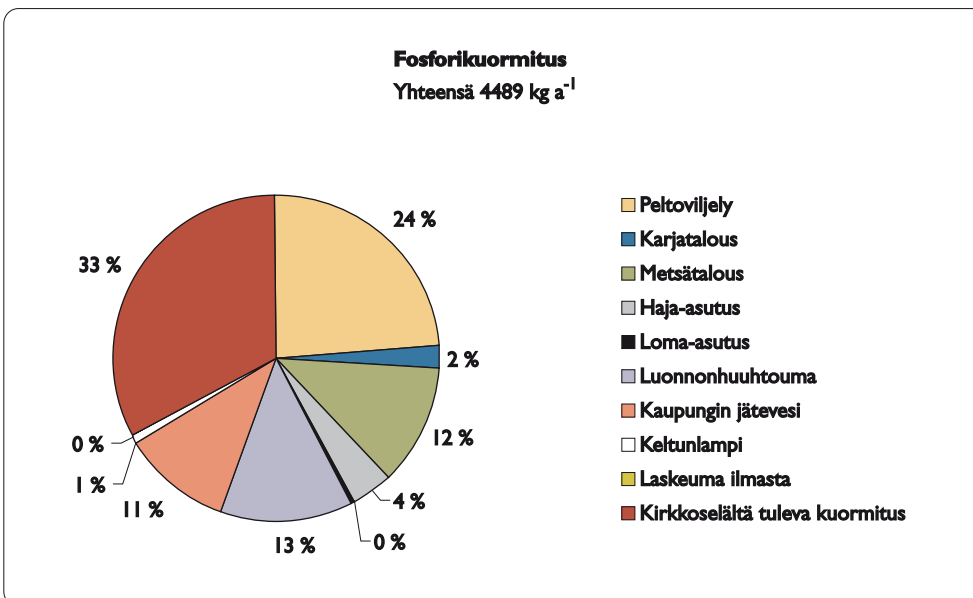
Junttiselän kuormitusarvio on erittäin karkea, mutta kertoo eri kuormituslähteiden suuruusluokan. Junttiselällä ihmistoiminnan aiheuttaman kokonaisfosforikuormituksen merkittävimmät lähteet ovat peltoviljely, metsätalous, kaupungin jätevedet ja haja-asutus. Typpikuormituksessa luonnonhuuhtoumalla on suurempi osuus kuin fosforikuormituksessa. Merkittävimmät typpikuormittajat ovat peltoviljely, metsätalous ja kaupungin jätevesi.



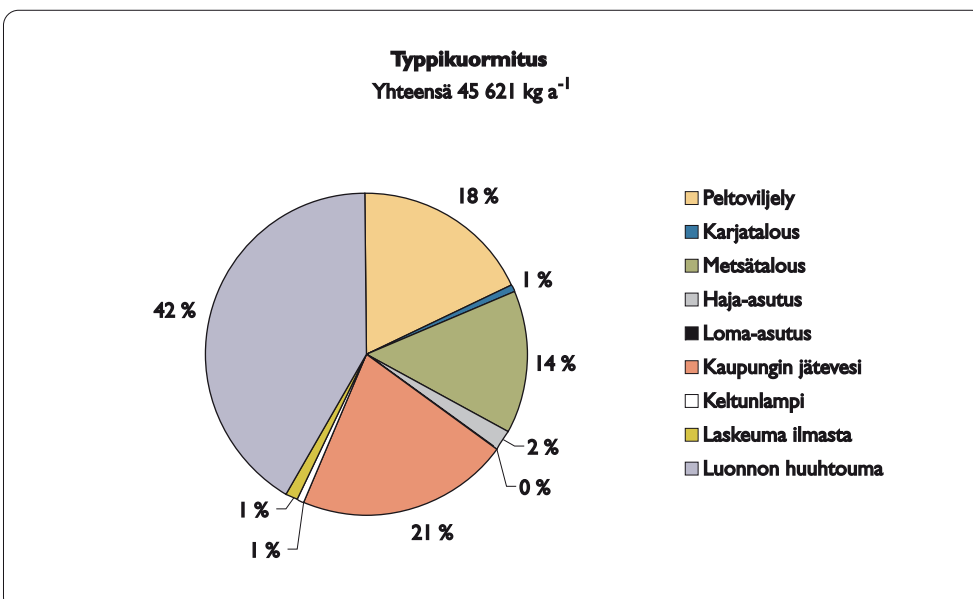
Kuva 33. Junttiselän raudan kuormitus ja kertymä.



Kuva 34. Junttiselän rautatase.



Kuva 35. Junttiselälle tulevan kokonaisfosforikuormituksen jakautuminen eri kuormituslähteisiin.



Kuva 36. Junttiselälle tulevan kokonaistypikuormituksen jakautuminen eri kuormituslähteisiin. Esitetty kokonaistypikuormitus ei sisällä Kirkkoselältä tulevaa kuormitusta.

Järven sisäinen ravinnekuormitus

Järven sisäisellä kuormituksella tarkoitetaan järven pohjan sedimentteihin sitoutuneiden ravinteiden vapautumista takaisin yläpuoliseen vesimassaan. Sisäinen kuormitus on lähinnä fosforikuormitusta. Pääosin kevään ja syksyn täyskiertojen aikana sedimenttiin sitoutuu fosforia. Vastaavasti talvi- ja kesäkerrostuneisuuden aikaan rehevän järven sedimenttiin muodostuu pelkistävät olosuhteet ja fosforia vapautuu yläpuoliseen veteen (Väisänen 2005).

Sisäinen kuormitus voidaan laskea fosforitaselaskelmilla (Lappalainen & Matinvesi 1990). Tällöin lähtötietoina tarvitaan ulkoinen kuormitus, luusuasta ja kalansaaliin mukana poistuva fosforivirtaama, bruttosedimentaatio järven pohjalle sekä vesimassan fosforivaraston muutos. Näitä tietoja ei Junttisellä ole saatavissa, joten tarkkoja arvioita sisäisen kuormituksen suuruudesta ei voida tehdä. Nettosedimentaatiota (bruttosedimentaatio-sisäinen kuormitus) voidaan karkeasti arvioida, kun käytetään edellä laskettua ulkoisen kuormituksen arviota, lasketaan luusuasta poistuva fosforimäärä säännöstelypadon vedenlaatuhavaintojen perusteella ja arvioidaan kalansaaliin mukana poistuva fosforimäärä saalistietojen perusteella. Oletetaan, että vuoden aikana veden fosforivaraston muutos on nolla, eli Junttisellä fosforipitoisuus on sama tarkasteluvuoden alussa ja lopussa.

Säännöstelypadolla tarkkailuvuosien 1997–1999 vuoden keskimääräinen fosforipitoisuus on ollut $25 \mu\text{g l}^{-1}$. Keskimääräinen virtaama on ollut $5,9 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Tällöin poistuvan fosforin määräksi saadaan 4651 kg a^{-1} . Ulkoisen kuormituksen osuus on tehdyn arvion mukaan 4489 kg a^{-1} . Kalansaaliin mukana poistuva fosforimäärä on noin 40 kg a^{-1} , kun kalansaali on Junttisellä noin 8000 kg a^{-1} (Haakana ym. 1997). Tällöin nettosedimentaatio on $(4489-4651-40) \text{ kg P a}^{-1} = -202 \text{ kg P a}^{-1}$. Eli sisäinen kuormitus on tämän verran suurempi kuin sedimentaatio pohjalle. Arvio on kuitenkin erittäin karkea lähinnä ulkoisen kuormituksen arvioinnin epätarkkuuden vuoksi. Tästä voidaan kuitenkin päätellä, että Junttisellä sisäisen kuormituksen osuus on merkittävä.

Sisäisen kuormituksen voimakkuutta voidaan tarkastella myös fosforiprofiilin avulla. Jos kesä- ja talvikerrostuneisuuden aikana fosforipitoisuudet ovat pohjalla korkeita, on se merkki fosforin vapautumisesta. Taulukoissa 11 ja 12 on esitetty talvi- ja kesäkerrostuneisuuden aikaisia fosfori- ja happipitoisuuksia esimerkkipäiviltä (1990- ja 2000-luku) Junttisylvältä. Kesäkerrostuneisuuden aikana fosforipitoisuudet ovat pohjalla olleet selkeästi korkeammat kuin pinnalla, vaikka pohjassa on happea riittänytkin. Kesäkerrostuneisuuden aikana fosfaattifosforipitoisuus on 2–3-kertaistunut pohjalle mentäessä. Talvella Junttisellä pohja on hapettomassa tilassa, mikä näkyy fosforipitoisuuksien selkeänä nousuna. Talvi- ja kesäkerrostuneisuuden ajan vesinäytteet kertovat sisäisen kuormituksen olevan merkittävää Junttisellä. Varsinkin kesäaikainen fosforipitoisuuksien nousu on haitallista, koska kesäaikana vapautuva fosfori on käytettävissä heti kasvukaudella.

Taulukko 11.

Junttisylvän fosfori- ja happipitoisuudet kesäkerrostuneisuuden aikana kahtena esimerkkipäivänä.

pvm	Näytesyvyys m	PO_4P $\mu\text{g l}^{-1}$	Kok. P $\mu\text{g l}^{-1}$	Liuk. happi mg l^{-1}	Lämpötila $^{\circ}\text{C}$
30.7.1991	1	2	33	9,7	19,8
	3,5	4	36	8,5	17,7
	6	7	44	6,7	16,7
4.7.2006	1	3	29	9,1	21,7
	4	8	50	5,1	19,6
	6,5	9	54	4,1	18,5

Taulukko 12.

Junttisyvän fosfori- ja happipitoisuudet talvikerrostuneisuuden aikana neljänä esimerkkipäivänä.

pvm	Näytesyvyys m	PO ₄ P µg l ⁻¹	Kok. P µg l ⁻¹	Liuk. happi mg l ⁻¹	Lämpötila °C
18.3.1999	1	2	8	12,5	0,6
	4		10	1,7	2,6
	7,2		18	0	3,6
10.2.2000	1		7	12,9	0,4
	4		19	0	3
	7,2		28	0	3,6
16.2.2004	1		6	13,2	0,4
	5		20	0	3
	7,1		44	0	3,4
22.3.2006	1		8	13,1	0,6
	5		8	0	3
	7		23	0	3,4

Voimakkaasta sisäisestä kuormituksesta kertoo myös se, että vaikka kesäaikaan noin 90 % Junttiselällä tulevasta vedestä tulee Kirkkoselältä Tikkalansalmen kautta ja viipymä Junttiselälle on pieni, on Junttiselän veden laatu kesäaikanakin Kirkkoselkää huonompi.

9 Junttiselän kunnostuksen tavoitteet

Marja-Leena Heikkinen, Susanna Airiola ja Tero Väisänen

Junttiselän rehevyys- ja happamoitumisongelmat ovat merkittäviä, sillä niillä on vaikutusta itse Junttiselän lisäksi alapuolisen Pyhäjoen veden laatuun sekä keväisen takaisinvirtauksen takia myös Kirkkoselän veden laatuun. Lisäksi Junttiselän virkistyskäyttöarvo on selkeästi muuta Pyhäjärveä heikompi muun muassa rantojen umpeenkasvun ja särkikalavaltaisen kalaston vuoksi.

1) Junttiselän kunnostussuunnittelun ensisijaisena tavoitteena on etsiä keinoja keväisten happamuuspiikkien poistamiseksi. Tavoitetasona voidaan pitää sitä, että pH pysyy Junttiselällä läpi vuoden eliöstölle suotuisalla tasolla (6,5–7).

2) Toisena tavoitteena on Junttiselän rehevyyden vähentäminen. Myös keväisten happamuuspiikkien poistamisessa on keskeistä rehevyyden vähentäminen. Kiintoaine- ja ravinnekuormituksen vähentämisellä hidastetaan talven aikana tapahtuvaa hapen kulutusta, joka on osasyynä metallien liukenemiseen veteen ja sen myötä käynnistyvään hapettumis-happamoitumispiikkiin jäiden sulaessa.

Junttiselän veden laadun tavoitteena voidaan pitää rehevöitymiskehityksen pysäyttämistä ja kehityksen kääntämistä vähitellen parempaan suuntaan. Tässä suunnitelmassa Junttiselän veden laadun tavoitteena voidaan pitää Keski-Pohjanmaan vesistöjen tila ja vesiensuojelun kehittämissuunnitelmassa (Mikkola & Pakkala 1997) asetettuja tavoitteita. Suunnitelmassa veden laadulle on asetettu seuraavat tavoitteet:

- Pintaveden keskimääräinen fosforipitoisuus $< 17 \mu\text{g l}^{-1}$
- Klorofyllipitoisuus $< 10 \mu\text{g l}^{-1}$
- Syvänteiden happipitoisuus $> 2 \text{ mg l}^{-1}$

3) Junttiselän rehevyyden vähentämisellä pyritään parantamaan myös järven virkistyskäyttömahdollisuuksia. Tavoitteena on, että veden laadun parantamisella järvellä viihtyy monipuolinen kalakanta ja vähempiarvoisen kalan määrä vähenee. Lisäksi Junttiselän idänpuoleisen rannan käyttökelpoisuus on nykyisellään huono. Kunnostustoimenpiteillä voidaan parantaa myös idänpuoleisen rannan käyttömahdollisuuksia.

Seuraavassa on arvioitu Junttiselän valuma-alueelle sekä itse järvioltaaseen soveltuvia kunnostusmenetelmävaihtoehtoja happamuuspiikkien poistamiseksi ja rehevyyden vähentämiseksi. Junttiselän kunnostusta suunniteltaessa on tärkeää vähentää ensin järven ulkoista kuormitusta ja vasta tämän jälkeen kohdentaa toimenpiteitä itse järvioltaaseen. Tällä menettelyllä saavutetaan pysyvämpiä parannuksia järven tilassa. Junttiselän kunnostusta suunniteltaessa on otettava huomioon niin alueen maatalouskäyttö, maisemalliset arvot kuin virkistyskäyttö.

Järven virkistyskäyttöarvoa parantavia kunnostustoimenpiteitä ei ole tässä yhteydessä käsitelty tarkemmin. Pyhäjärven pohjoisosan kunnostushankkeeseen liittyen Junttiselällä on tehty tehokalastuksia ja vesikasvien niittoa keväästä 2006 lähtien. Junttiselän Itärannan kunnostuksen suunnittelu kuuluu osana käynnissä olevaan kunnostushankkeeseen.

10 Junttiselän kunnostusmahdollisuudet ja -suositukset

Marja-Leena Heikkinen, Susanna Airiola, Tero Väisänen, Hannu Nykänen, Marja Liisa Räisänen ja Jari Mäkinen

10.1

Toimenpidemahdollisuudet happamuuspiikkien poistamiseksi

Junttiselän happamuuspiikkien poistamisessa kunnostusvaihtoehtoina voidaan pitää seuraavia:

0- vaihtoehto: Ei toimenpiteitä.

Tulevaisuudessa tämä tarkoittaa todennäköisesti happamuuspiikkien ajoittaista esiintymistä. Junttiselän tilaa tulisi säännöllisesti seurata. Tarvittava seuranta olisi lisättävä osaksi Junttiselän kuormittajien velvoitetarkkailua. Hajakuormituksen seuranta olisi saatava osaksi viranomaisten seurantoja.

1- vaihe: Ulkoisen metallikuormituksen vähentäminen (kaivos, jätevedenpuhdistamo, valuma-alue).

Junttiselän sedimentissä ja vedessä on suuria pitoisuuksia rikkiyhdisteitä ja rautaa, jotka ovat keskeisellä sijalla keväisissä happamuuspiikeissä. Ulkoisen kuormituksen vähentäminen on ensisijainen toimenpide Junttiselän kunnostamisessa. Piste-kuormittajien tulisi tehdä yksityiskohtainen suunnitelma kuormituksen selkeästä vähentämisestä. Myös Särki- ja Parkkimajoen valuma-alueiden kuormituslähteiden paikallistaminen ja kuormituksen vähentäminen on tärkeä osa Junttiselän ulkoisen kuormituksen vähentämistä.

2- vaihe: Toimenpiteet järvioltaassa.

Ulkoisen kuormituksen vähentämisen jälkeen toimenpiteitä voidaan kohdentaa itse järvioltaaseen. Pelkkä Junttiselän syvänteen käsittely ei ole riittävää, vaan järven tilan parantamiseksi toimenpiteet olisi kohdistettava koko järvioltaaseen.

Taulukossa 13 on esitetty kunnostusmenetelmävaihtoehtoja Junttiselän happamuuspiikkien poistamiseksi. Seuraavassa on käsitelty yksityiskohtaisemmin mahdollisia kunnostusmenetelmiä, menetelmien vaikutuksia ja arvioitu menetelmien soveltuvuutta Junttiselälle. Kunnostussuosituksia voidaan pitää ns. kunnostuksen yleissuunnitelmana. Kunnostushankkeen edetessä tulee soveltuvista menetelmistä laatia hankesuunnitelmat tarkennettuine kustannusarvioineen. Tämän jälkeen voidaan tehdä varsinaisten kunnostusmenetelmien valinta.

Ei toimenpiteitä

Junttiselän kunnostuksen yhtenä vaihtoehtona on se, että mitään toimenpiteitä ei tehdä. Tällä vaihtoehdolla ei ole todennäköisesti suuria välittömiä vaikutuksia Junttiselän tilaan (taulukko 13). Tulevaisuudessa tämä tarkoittaa todennäköisesti happamuuspiikkien ajoittaista esiintymistä.

Kaivoksen sulfaattikuormituksen vähentäminen

Nykytietämyksen mukaan Junttiselän sedimentin ja veden sisältämä sulfaatti on raudan ohella osatekijä keväisissä happamuuspiikeissä. Junttiselän runsaat sulfaattipitoisuudet ovat suurimmaksi osaksi peräisin kaivoksen johtamista jätevesistä. Kaivoksen jätevesi sisältää edelleen runsaasti sulfaattia liukoisena sulfaattina sekä sitoutuneena kipsiin (kalsiumsulfaatti) ja kalsiumhydroksidisaostumaan (Räisänen 2007). Sulfaattikuormituksen vähentämisellä voitaisiin saavuttaa merkittävä parannus Junttiselän tilassa. Mahdollisuuksia sulfaattikuormituksen vähentämiseksi olisi tutkittava (kuormittajan velvoite). Kaivoksen jätevedestä voitaisiin poistaa sulfaattia erilaisin prosessiteknisin menetelmin. Veden puhdistaminen vaikuttaa ensin vesirunkoon ja sitä kautta vähitellen myös sedimenttiin.

Sulfaatin saostumista Junttiselän pohjasedimenttiin voitaisiin vähentää kaivoksen jätevesien sekoituspumppauksella purkukohdassa. Tällöin sulfaattipitoinen vesi sekoittuisi paremmin isoon vesimassaan ja pohjasedimenttiin kertyvän sulfaatin määrä saattaisi vähentyä (Lakso 2007).

Ulkoisen metallikuormituksen vähentäminen

Sulfaattikuormituksen lisäksi kaivostoiminta on aiheuttanut Junttiselälle kupari- ja sinkkikuormitusta. Myös Särkijoesta näyttäisi laskevan runsaasti sinkkiä sisältäviä vesiä Junttiselkään. Kaupungin jätevedenpuhdistamon kautta tuleva metallikuormitus on vähäistä verrattuna kaivoksen jätevesiin. Junttiselän pohjan pintasedimentin (0–21 cm) kupari- ja sinkkipitoisuudet ovat huomattavan korkeita verrattuna alueen luontaisiin pitoisuuksiin, mikä myös osaltaan kertoo ulkoisesta metallikuormituksesta (taulukko 5). Pohjasedimentin korkeista pitoisuuksista huolimatta Junttiselän vedessä sinkki- ja kuparipitoisuudet ovat pysytelleet melko alhaisella tasolla myös keväisten happamoitumispiikkien yhteydessä. Ulkoisen kupari- ja sinkkikuormituksen vähentämistä olisi kuitenkin syytä tutkia (kuormittajien velvoite).

Keväisissä happamuuspiikeissä keskeisellä sijalla olevien raudan ja alumiinin pitoisuudet Junttiselän pohjasedimentissä eivät ole alueen luontaista tasoa korkeampia. Särki- ja Parkkimajoen kautta tuleva alumiini- ja rautakuormitus on Junttiselän pistekuormittajiin, kaivokseen ja jätevedenpuhdistamoon, verrattuna huomattavasti suurempaa. Mahdollisuuksia ulkoisen alumiini- ja rautakuormituksen vähentämiseksi olisi tutkittava.

Ruoppaus

Junttiselän ruoppauksella voitaisiin poistaa pohjan raskasmetalleja ja erityisesti sulfidisakkaa sisältävä sedimentti. Yhdessä ulkoisen sulfaattikuormituksen vähentämisellä ruoppaamisella voitaisiin todennäköisesti saavuttaa merkittävä muutos Junttiselän tilaan. Junttiselän ruoppaaminen on teknisesti vaikeasti toteutettavissa, myös kustannukset nousisivat huomattavan suuriksi. Lisäksi sedimentin sisältämät raskasmetallit ja ravinnepitoisuus täytyisi ottaa huomioon ruoppausta ja ruopattavien massojen läjittämistä suunniteltaessa. Myös ruoppausmassojen sijoittaminen on suuressa mittakaavassa ongelma. Ongelmia on tapauksissa, joissa läjitettävät massamäärät ovat suuria eli yli 100 000 m³ (Viinikkala ym. 2005).

Junttiselältä olisi poistettava sedimenttiä noin 20 cm, jolloin koko järvestä poistettava massa olisi yhteensä 1 140 000 m³. Mahdollinen ruoppausmenetelmä Junttiselällä olisi lautan päältä ruoppaaminen. Tällöin koko Junttiselän ruoppauksen kustannusarvio olisi karkeasti arvioituna noin 9 milj. € (sisältää massojen rannalle siirron). Ruoppausmassat vaatisivat vähintään 57 ha läjitysalueen, mitä voi olla käytännössä mahdotonta löytää. Ruoppausmassojen sijoittaminen kaivoksen altaisiin on kuitenkin mahdollista, tällöin tosin läjitysmatka nostaa kustannuksia (taulukko 13) (Viinikkala 2007).

Pohjan peitto

Junttiselän sedimentin peittämisellä voitaisiin estää metallien vapautuminen järven pohjasta ja estää happamuuden synty. Junttiselällä ei riitä pelkän syvännealueen pohjan peittäminen, vaan koko järvioltaan sedimentti olisi käsiteltävä, mikä lisää kustannuksia. Tällä menetelmällä saavutettaisiin kuitenkin nopeasti positiivisia tuloksia veden laadun parantuessa. Junttiselän järvioltaan suuren pinta-alan, nopean veden vaihtuvuuden ja mataluuden vuoksi sedimentin käsittelyyn ei löydy nykyisin käytössä olevaa menetelmää (taulukko 13). Pohjan peittämiseen soveltuvan materiaalin ja menetelmien löytäminen vaatii lisäselvityksiä. Saastuneiden järvisedimenttien ”kapselointia” on kehitetty ja testattu mm. Ruotsissa (Vattenresurs 2007).

Hapetus/ilmastus

Rehevyyden seurauksena järvissä ilmenee usein happikatoa. Tällöin järven veden hapettaminen on varteenotettava menetelmä kunnostuksessa. Hapetuksen tarkoituksena on estää tai vähentää hapettomuudesta johtuvaa fosforin ja metallien vapautumista sekä taata järven eliöstön hapen saanti. Järven hapetukseen on kehitetty monia erilaisia menetelmiä. Menetelmät perustuvat hapen liuottamiseen ilmasta, hapekkaan veden johtamiseen vähähappiseen alusveteen tai hapen lisäämiseen veteen kemikaalina (Lappalainen & Lakso 2005).

Junttiselän tapauksessa hapettamisen käyttäminen kunnostusmenetelmänä on kyseenalaista. Jos järvessä ilmenee hapettomuutta hapetuksesta huolimatta, pääsee järven pohjasta vapautumaan metalleja, jotka hapettuessaan tuottavat happoa. Siten menetelmä edistää happamuuden syntyä. Jos hapettaminen suoritettaisiin ympärivuotisenä tehohapetuksena useilla hapettimilla, jolloin pohjaan ei pääse syntymään hapettomuutta, estyisi metallien vapautuminen pohjasta ja sitä kautta syntyvä happamuus. Pelkkä syvänteeseen talviaikainen hapettaminen ei Junttiselällä riitä, vaan hapetuksen tulisi ulottua laajemmalle alueelle ja ympärivuotisesti. Todennäköisesti Junttiselkä saataisiin pidettyä hapellisenä 2-3 kierrätysvapettimella, joista 1 sijaitisi syvänteeseen kohdalla (Lakso 2007). Toisaalta järven liiallinen hapettaminen saattaa johtaa sedimentin sulfaattikerroksen hapettumiseen ja sitä kautta vapautuvaan happamuuteen. Menetelmän käytöstä ei ole kokemuksia vastaavanlaisissa tapauksissa. Tehohapetuksen kustannukset ovat pitkällä aikavälillä korkeita (taulukko 13).

Ympärivuotista tehohapetusta on käytetty esimerkiksi Tuusulassa ja Järvenpäässä sijaitsevan ylirehvän Tuusulanjärven (6,0 km²) kunnostuksessa. Tuusulanjärveä on hapetettu vuodesta 1998 alkaen kesäisin kuudella ja talvisin yhdellä Mixox-hapettimella (kierrätysvapetus). Seurannan mukaan järven syvänteeseenkin happipitoisuus on pysynyt riittävänä, vähintään tasolla 4 mg l⁻¹, läpi vuoden (mm. Joensuu 2002).

Virtausmuutoksilla hapettaminen ja kerrostumisen vähentäminen

Talvella Tikkalansalmesta tuleva vesi virtaa aivan jääkannen alla Junttiselän läpi. Tämä osaltaan edistää Junttiselän alusveden talviaikaista hapettomuutta. Järven virtausmuutoksilla hapettamista voidaan pitää eräänlaisena hapetuksen sovelluksena. Junttiselän virtauksia muutettaisiin erilaisin rakentein siten, että hapekasta vettä johdettaisiin korvaamaan pohjan hapeton vesimassa. Hapetukseen verrattuna virtausmuutoksilla hapettaminen on edullinen menetelmä. Menetelmän käytössä on kuitenkin riski metallien vapautumiseen ja happamoitumispiikkiin, kuten hapetuksessakin. Menetelmän käytöstä ei ole kokemuksia vastaavanlaisissa tapauksissa (taulukko 13).

Kalkitus

Järvien kalkituksella eli veden neutraloinnilla torjutaan happamoitumishaittoja, jotka heikentävät järven ekologista toimivuutta, kuten kalojen viihtyvyyttä. Happamuu-

den suhteen hyvän tilanteen säilyminen vaatii uusintakalkituksia. Luontaisesti happamia vesistöjä ei ole syytä kalkita, koska tällöin ei ole mahdollista päästä pysyvään tilanteeseen pitkälläkään aikavälillä (Wepppling & Iivonen 2005). Lisäkalkituksesta ei ole todettu olevan suurta hyötyä Junttiselän keväisten happamuuspiikkien poistamisessa. Kalkitus saattaa auttaa hetkittäin neutraloimaan happoja, mutta sillä ei ole todennäköisesti suurta vaikutusta (taulukko 13). Lisäksi kaivokselta johdettava jätevesi sisältää runsaasti kipsiä ja kalkkia, jotka toimivat veden neutraloijina (Räisänen & Mäkinen 2007). Keväistä happamuuspiikkiä lukuun ottamatta Junttiselän veden happamuustaso on suomalaisille järvivesille tyypillisellä tasolla.

Pohjan pitäminen hapettomana

Sulfaattikuormitettujen järvien (AMD) kunnostuksessa on käytetty (esim. Saksassa) kunnostusmenetelmänä järven pohjan pitämistä hapettomana. Pohjan ollessa jatkuvasti hapeton veden pH kohoaa, metallit saostuvat sedimenttiin ja happamuuden synty estyy. Käytännössä tämä tarkoittaa orgaanisen aineksen lisäämistä järveen. Sen seurauksena Junttiselkä rehevöityisi entisestään, minkä vuoksi menetelmän käyttäminen kunnostusmenetelmänä on hyvin kyseenalaista. Tämän seurauksena Junttiselän virkistyskäyttöarvo heikentyisi ja aiheuttaisi myös alapuolisen Pyhäjoen rehevöitymistä (taulukko 13). Lisäksi Junttiselän sulfaattipitoisuus voi nykyisellään olla liian korkea suhteessa metallipitoisuuksiin. Tämä voi johtaa rikkivedyn vapautumiseen.

10.2

Toimenpidemahdollisuudet rehevyyden vähentämiseksi

Junttiselän kunnostussuunnittelun ensisijaisena tavoitteena on happamuuspiikkien poistaminen ja toiseksi järven rehevyyden vähentäminen. Järven rehevyyden vähentäminen on tärkeää lähinnä happamuusongelman ja virkistyskäytön kannalta. Rehevyyden vähentämisellä estettäisiin järven talviaikaista hapettomuutta ja sitä kautta syntyvää happamuutta. Lähinnä rehevyyden haittoja vähentävillä toimenpiteillä, kuten vesikasvillisuuden niittämällä ja ravintoketjukurkennostuksella, parannetaan järven virkistyskäyttöarvoa. Junttiselän ulkoinen ravinnekuormitus on arvioitu sisäistä kuormitusta huomattavasti suuremmaksi. Järven rehevyyttä vähentävät toimenpiteet olisi kohdistettava ensin ulkoisen kuormituksen vähentämiseen ja vasta tämän jälkeen sisäiseen kuormitukseen.

Seuraavassa on arvioitu mahdollisuuksia ulkoisen kuormituksen vähentämiseksi Junttiselän valuma-alueella. Lisäksi on arvioitu toimenpidemahdollisuuksia järven sisäisen kuormituksen ja rehevyyden haittojen vähentämiseksi.

10.2.1

Valuma-alueella toteutetut ravinnekuormitusta vähentävät toimenpiteet

Junttiselän alueella on tehty aikaisemmin pienimuotoisia kunnostustoimenpiteitä rehevyyden vähentämiseksi. Lisäksi Junttiselän tilan parantamiseksi on tehty tutkimuksia ja alustavia suunnitelmia (Airiola 2000). Muun muassa Keltunlammen ja Junttisyvän pohjan kipsausta on suunniteltu ja tutkimuksia tehty.

Parkkimajokisuuhun on rakennettu noin 1,3 hehtaarin suuruinen laskeutusallas kaivamalla ja pengertämällä aluetta. Altaan koko on pieni verrattuna Parkkimajoen valuma-alueeseen (0,02 %). Altaan vaikutusta vedenlaatuun ei ole tutkittu. Altaan piennestä koosta johtuen voidaan olettaa, että allas toimii huonosti ylivaluma-aikaan.

Taulukko 13.

Junttiselän keväisten happamuuspiikkien kunnostusmenetelmävaihtoehtojen arviointi.

Toimenpide	Toimenpiteen vaikutukset	Arvio	Perustelut/arvio
Ei toimenpiteitä	- ajoittaisia happamuuspiikkejä, → metallien vapautuminen, kalakuo- lemat	–	- keväiset happamuuspiikit todennäköisiä, → happamuuden vaikutukset Junttiselkään ja alapuoliseen Pyhäjokeen
Kaivoksen sulfaattipääs- tön vähentäminen	- merkittävä parannus Junttiselän ti- lassa, muutos nopeampi yhdistettynä muihin menetelmiin	+	- korkeat kustannukset (esim. sulfaatin poisto jätevedestä) - vaikutus järvessä hidas, koska sedimentissä sulfaattia runsaasti
Ruoppaus	- noin 20 cm sedimentin poisto - riski metallien vapautumiseen suuri ruoppauksen yhteydessä → vaikutukset järven ja alapuolisen vesistön eliöstöön	–	- korkeat kustannukset - ruopattavia massoja paljon → läjitys ongelmallista - entisen tilanteen palauttaminen nopeasti
Pohjan peitto	- metallien vapautuminen sedimentistä estyy → veden laatu paranee nopeasti	?	- korkeat kustannukset - pohjan peittämiseen soveltuvan materiaalin ja menetelmien löytäminen vaatii lisäselvi- tyksiä
Hapetus/ilmastus	- pohjan pitäminen hapellisena → metallien vapautuminen pohjasta estyy - riski metallien vapautumiseen ja hap- pamoitumispiikkeihin	+/-	- korkeat kustannukset pitkällä aikavälillä - ei kokemusta käytöstä vastaavanlaisissa ta- pauksissa - mahdollisuus ajoittaisiin happamuuspiikkeihin
Virtausmuutoksilla ha- pettaminen ja kerrostu- misen vähentäminen	- pohjan pitäminen hapellisena → metallien vapautuminen pohjasta estyy - riski metallien vapautumiseen ja hap- pamoitumispiikkeihin	+/-	- edullinen menetelmä - ei aiempia kokemuksia menetelmän käytöstä - mahdollisuus ajoittaisiin happamuuspiikkeihin
Kalkitus	- auttaa hetkittäin, neutraloi happoja → ei suurta vaikutusta (kaivoksen jätevesi sis. runsaasti kipsiä)	+/-	- korkeat kustannukset pitkällä aikavälillä - hyödyt eivät suuria kustannuksiin nähden
Pohjan pitäminen hapettomana	- pH kohoaa, metallit saostuvat sedi- menttiin - orgaanisen aineksen lisääminen rehevöittää järveä entisestään	–	- suhteellisen edullinen menetelmä (käytetty esim. Saksassa) - ei suuria riskejä metallien vapautumiseen, jos pohja saadaan pidettyä jatkuvasti hapet- tomana - rehevöitymisen myötä järven virkistyskäyttö- arvo heikkenee, vaikutukset myös alapuoli- seen Pyhäjokeen

Taulukossa käytetyt merkinnät:

– = ei sovellu, +/- = ei vaikutusta tai vaikutus epävarma, ? = menetelmän sopivuudesta
kohteeseen ei ole tarpeeksi tietoa, joko tausta- tai menetelmätietojen puutteellisuuden
vuoksi, + = soveltuu melko hyvin, ++ = soveltuu hyvin

Kihonpuroon Junttiselän länsirannalle Hietakylään on rakennettu laskeutusaltaan ja kosteikon yhdistelmä. Suunnitelman mukaan laskeutusaltaan koko on 0,1 % valuma-alueesta. Altaaseen liittyvän kosteikon pinta-ala on samoin 0,1 % valuma-alueesta.

Junttiselällä on toteutettu aikaisemmin pienimuotoisesti tehokalastusta. Junttiselän itärannalla on suoritettu vesikasvien niittoa kesällä 1998, 1999 ja 2000.

10.2.2

Toimenpidemahdollisuudet ulkoisen ravinnekuormituksen vähentämiseksi

Junttiselän ulkoinen ravinnekuormitus on sisäistä kuormitusta suurempaa pääosan vuotta. Junttiselän rehevyyskehityksen pysäyttämiseksi on tärkeää ensin minimoida ulkoinen ravinnekuormitus ja sen jälkeen kohdennettava toimenpiteitä järven sisäiseen kuormitukseen. Junttiselän valuma-alueelta tulevasta fosforikuormituksesta arviolta noin 53 % on ihmisen toiminnasta aiheutuvaa. Tästä suurimpia kuormittajia ovat peltoviljely (24 %), metsätalous (12 %) ja haja-asutus (11 %).

Maatalouden kuormituksen vähentäminen

Pyhäjärven kaupungin maaseutusihteerin antamien tietojen mukaan Junttiselän valuma-alueella on 25 aktiiviviljelyaluetta, joilla on peltoa kaikkiaan 915 ha. Tästä aktiiviviljelyaluetta on 778 ha. Maatalouden vesiensuojelutoimia ohjaavat muun muassa ympäristönsuojelulaki ja -asetus. Lisäksi maatalouden vesiensuojelussa on yleisesti käytössä maatalouden ympäristötuki. Kaikki Junttiselän valuma-alueen aktiiviviljat kuuluvat maatalouden ympäristötuen perustoimenpiteiden piiriin. Koska kaikki alueen tilat kuuluvat perustuen piiriin, pitäisi periaatteessa vesiensuojelun perusasiat, kuten lannoitus, lannan varastointi ja levitys sekä pientareet ja suojakaistat olla kunnossa. Maatalouden erityisympäristötukeen kuuluvia suojavyöhykesopimuksia alueella on voimassa vain kahdella tilalla. Suojavyöhykkeiden lisäksi erityistuen piiriin kuuluvat lannan käytön tehostamissopimukset, laskeutusaltaiden ja kosteikkojen perustamiset sekä säätösalaajitukset. Lisätoimenpiteitä Junttiselän valuma-alueen maatalouden ravinnekuormituksen vähentämiseksi tarvitaan edelleen, koska tehdyn arvion mukaan maatalous on yksi alueen suurimmista ravinnekuormittajista. Junttiselän valuma-alueen vesiensuojelun erikoistoimenpiteitä varten tarvitaan tilakohtaista suunnittelua.

Suojavyöhykkeet

Suojavyöhykkeet vähentävät tehokkaasti maa-aineksen ja ravinteiden kulkeutumista pelloilta vesistöihin. Suojavyöhyke on leveä yhtenäinen alue vesistön ja viljellyn peltoalueen välissä. Sitä peittää monivuotinen kasvusto, joka on suojaviljaa, nurmea tai viherkesantoa. Suojavyöhykkeitä hoidetaan niittämällä ja korjaamalla niittojäte pois tai vaihtoehtoisesti laiduntamalla perinnemaiseman tapaan. Suojavyöhykettä ei lannoiteta eikä sillä saa käyttää torjunta-aineita. Maatalouden ympäristötuen erityisosan ehtoissa suojavyöhykkeen minimileveydeksi asetetaan 15 m. Suojavyöhykkeen perustaminen vesiensuojelun kannalta on edullista erityisesti kalteville peltoalueille, joiden kaltevuus on yli 10 %. Toistuvasti tulvavesien alle jäävät ranta-alueet ovat myös sopivia suojavyöhykkeiden paikkoja (Salmela 1999). Suojavyöhykkeen on todettu vähentävän 30–40 % pelloilta vesistöön kulkeutuvaa fosforikuormaa ja 60 % kiintoainekuormaa (Uusi-Kämpä & Kilpinen 2000).

Junttiselän valuma-alueella pelloille ei ole perustettu varsinaisia suojavyöhykkeitä. Suojakaistatkin pääsääntöisesti puuttuvat. Erityisesti Junttiselän länsirannalla ja Parkkimajoen varrella pellot reunustavat vesistöä. Alueelle olisi syytä laatia suojavyöhykesuunnitelma.

Laskeutusaltaat

Laskeutusaltaalla tarkoitetaan kaivamalla tai patoamalla tehtyä allasta, jossa veden virtausnopeuden hidastuessa veden sisältämät maapartikkelit laskeutuvat altaan pohjalle. Mitä kauemmin vesi viipyy altaassa, sitä pienemmät partikkelit ehtivät laskeutua ja sitä tehokkaammin allas toimii. Kiintoaineen mukana erottuu myös jonkin verran fosforia. Tutkimusten mukaan altaan pinta-alan pitäisi olla maatalousalueilla vähintään 1 % yläpuolisen valuma-alueen pinta-alasta (Mattila 2005).

Tutkimusten mukaan laskeutusaltaiden käytön hyödyt maatalousalueiden vesienkäsittelyssä ovat melko vähäisiä. Viljelyalueiden maalaji on usein heikosti laskeutuvaa, jolloin laskeutusaltaat eivät juuri pidätä kiintoainetta ja ravinteita. Lisäksi kaivamalla toteutettuna laskeutusaltaan kaivamisesta saattaa aiheutua suurempi kuormitus vesistölle kuin mitä laskeutusallas toimiessaan voi pidättää. Altaasta voi olla hyötyä esimerkiksi kosteikon yläpuolelle, jolloin allas ehkäisee kosteikon tukkeutumisen karkealla kiintoaineella (Häikiö ym. 1998).

Junttiselän alue on niin tasaista, että patoamalla sinne ei voida toteuttaa laskeutusaltaita. Kuten edellä on mainittu, kaivamalla toteutettavien laskeutusaltaiden tarkoituksenmukaisuus on kyseenalaista, joten Junttiselän alueella veden laadun parantamiseksi ei voida tehdä paljonkaan laskeutusaltaiden avulla maatalousvaltaisilla alueilla.

Kosteikot

Vesiensuojelukosteikolla tarkoitetaan vesistökuormitusta vähentävää ojan, puron, joen tai muun vesistön osaa ja sen ranta-aluetta, joka suuren osan vuodesta on veden peitossa ja muunkin ajan pysyy kosteana. Kosteikot, joiden pinta-ala on yli 2 % yläpuolisesta valuma-alueesta, poistavat vedessä olevaa kiintoainetta ja liuenneita ravinteita, kun niihin juurtunut kasvillisuus sekä kasvuston pinnalla oleva biomassa käyttävät ravinteita hyväkseen. Edullisissa olosuhteissa ja riittäväksi mitoitettussa kosteikossa havaittu typen poistuma on ollut jopa 48 %, fosforin 62 % ja kiintoaineen 60 % (Puustinen 2001 ym.). Puhdistustulokset riippuvat erittäin paljon kosteikon ja laskeutusaltaan mitoituksesta, valuma-alueen maaperästä, tulevan veden laadusta ja kosteikolla olevasta kasvillisuudesta. Kosteikkojen parhaat sijoituspaikat ovat valuma-alueilla, joilla on paljon peltoja. Vesiensuojelun lisäksi kosteikoilla on myös muita ympäristöhyötyjä, kuten maisemalliset arvot ja luonnon monimuotoisuuden lisääminen (Matti 2005).

Valuma-alueetarkastelun perusteella Junttisälän alueella ei näyttäisi olevan luonnostaan hyviä kosteikkopaikkoja. Alue on tasaista, joten kosteikon perustaminen vaatii kaivu- ja pengerrystöitä. Lisäksi peltovaltaisilla valuma-alueilla kosteikko olisi pääasiassa perustettava viljellylle alueelle, mikä saattaa aiheuttaa ristiriitoja maanomistajien keskuudessa. Särkijärvi itsessään toimii jonkinlaisena luonnon kosteikkona ja järveen laskevat ojat suotautuvat tiheän kasvillisuusvyöhykkeen läpi. Junttisälän länsirannalle laskevan Kihonpuron valuma-alue on peltovaltainen ja Kihonpuron suu voisi soveltua kosteikon perustamiseen. Puron suulle onkin rakennettu laskeutusallas ja pienialainen kosteikkoalue, mutta kosteikon pinta-alan tulisi olla noin 10–20 kertainen suunnitelmassa esitettyyn pinta-alan nähden. Kihonpuron suulla kosteikon perustaminen vaatisi viljelyalueen ottamista kosteikon käyttöön. Parkkimajokeen laskevien ojen suulle olisi mahdollista myös perustaa kosteikkoja, joskaan mitään luontaisesti hyviä paikkoja ei Parkkimajoen varrestakaan löydy.

Muut toimenpiteet

Taloudellisin ja käytännöllisin tapa vähentää peltoviljelyn vesistökuormitusta on toimia jo kuormituksen alkulähteillä eli kiinnittää huomiota pellon viljely- ja kuivatusmenetelmiin. Peltojen hyvä peruskunto ja kuivatustila ovat edellytyksiä vesiensuojelulle. Syyskynnön välttäminen ja korkeuskäyrien suuntainen kyntö vähentävät huuhtoutumista. Viherkesannointi vähentää eroosiota ja kokonaisfosforikuormitusta noin viidennekseen avokesannointiin verrattuna. Ravinnetasetarkastelujen avulla pyritään mahdollisimman tehokkaaseen lannoituksen käyttöön ja siten myös ravinnehuuhtoutumien vähenemiseen. Maan kalkituksella parannetaan muun muassa fosforin käyttökelpoisuutta kasveille. Salaojitus on avo-ojitusta ympäristöystävällisempi vaihtoehto, koska pintavesien suotautuessa maakerrosten läpi lannoitefosfori pidättyy tehokkaasti maahan. Säätosalaojituksella parannetaan lisäksi pellon vesitaloutta kasvukauden aikana ja pienennetään kastelutarvetta sekä toisaalta vähennetään peltoalueelta poistuvan veden kokonaismäärää ja sen sisältämää ravinnemäärää (Puustinen 1999, Mikkola 2005).

Metsätalouden kuormituksen vähentäminen

Metsätaloustoimenpiteiden aiheuttama vesistökuormitus on usein lyhytaikaista ja toimenpiteen aiheuttama kuormitusvaikutus vähenee jo muutamassa vuodessa. Metsätaloudessa käytettävät vesiensuojelutoimenpiteet on aina harkittava tapauskohtaisesti kohteiden erilaisuudesta johtuen. Vesiensuojelutoimenpiteiden valintaan vaikuttavat muun muassa maaston muodot, maalajit, valuma-alueen ja käsittelyalueen laajuus, vesistöjen läheisyys ja maanomistusolot. Metsätaloustoimenpiteistä eniten kuormittavia ovat kunnostusojitus, maanmuokkaus ja lannoitus (Joensuu ym. 2007). Metsätaloustoimenpiteiden aiheuttaman kuormituksen vähentämisessä olisi

oleellista ottaa huomioon vesiensuojeluasiat jo suunnitteluvaiheessa ja huolehtia siitä, että suunnitellut vesiensuojelutoimenpiteet toteutetaan asianmukaisesti. Tämä vaatii yhteistyötä metsätaloustoimenpiteiden suunnittelijoiden ja toteuttajien välillä. Junttisälän valuma-alueelle on tehty vuonna 2000 ojitussuunnitelma. Suunnitelmaan on sisällytetty hyväksytyt vesiensuojelutoimenpiteet. Junttisälän valuma-alueen ojitusten nykytilasta ja kunnossapidosta ei ole tietoa.

Ojakohtaisia vesiensuojelumenetelmiä ovat ojiin jätettävät kaivu- ja perkauskatkot. Vanhat, vielä toimivat ojat voidaan jättää kokonaan perkaamatta, kun se on kaltevuuden ja veden virtausolosuhteiden puolesta mahdollista. Vesistöjen ja pienvesistöjen varteen tulee jättää koskematon kasvillisuusvyöhyke sitomaan kiintoainesta ja ravinteita. Raskaampia valumavesissä olevia kiintoaineshiukkasia voidaan poistaa ojiin kaivettavien lietekuoppien avulla. Karkeilla ja keskikarkeilla kivennäismailla valumaveden kiintoaineksen ja siihen sitoutuneiden ravinteiden poistoon soveltuvat laskeutusaltaat. Tilapäisten, esimerkiksi havupatojen avulla voidaan vähentää eroosioherkän maa-aineksen liikkeelle lähtöä jo kaivun yhteydessä. Myös pohjapadoilla vähennetään syöpymistä ja pidätetään karkeaa kiintoainesta. Tehokkain menetelmä veden mukana liikkeelle lähteneen kiintoaineksen pysäyttämiseen on kuitenkin pintavalutuskenttä. Pintavalutuksella voidaan vähentää myös liuenneiden ravinteiden kulkeutumista vesistöön. Pintavalutuksella tarkoitetaan veden ohjaamista ojittamattoman alueen läpi, jolloin veden liike hidastuu ja vedet leviävät laajalle alueelle suodattuen olemassa olevan kasvillisuuden läpi. Pintavalutuskentän ja laskeutusaltaan yhdistelmänä voidaan käyttää kosteikkoja, joka ainakin runsaan virtaaman aikana on veden peitossa ja muunkin ajan märkänä tai kosteana. Kosteikko kerää tehokkaasti kiintoainesta sekä siihen sitoutuneita ravinteita (Joensuu ym. 2007).

Laskeutusaltaat ja pintavalutuskentät

Laskeutusaltaita käytetään metsätalousalueiden valumavesien puhdistukseen samoin periaattein kuin maatalousalueilla. Laskeutusaltaat ovat käyttökelpoisia alueilla, joiden maaperässä on keskikarkeaa tai karkeaa kivennäismaata. Altaan pinta-ala tulisi olla noin 0,03–0,08 % valuma-alueen pinta-alasta ja yläpuolisen valuma-alueen tulisi olla enintään 50 ha. Veden viipymä altaassa tulisi olla noin tunti (Joensuu ym. 2007).

Pintavalutuskenttiä on tutkittu lähinnä turvetuotantoalueilla. Pintavalutus soveltuu kuitenkin hyvin myös metsätalouden valumavesien käsittelyyn. Hakkuiden kiintoaines- ja ravinnehuuhtoumia voidaan vähentää parhaiten pintavalutuksella. Pintavalutuksella tarkoitetaan veden ohjaamista ojittamattoman alueen läpi. Hyvin toimiville pintavalutuskentille jää 70–90 % kiintoaineksesta ja osa kiintoaineksen sisältämistä ravinteista. Turvetuotantoalueilla pintavalutuskenttiin on saatu pidättymään noin 50 % valumavesien kiintoaineksesta ja noin 40 % sekä fosforista että typestä (Savolainen ym. 1996). Pintavalutuskentän tulee olla vähintään 1 % valuma-alueesta ja valuma-alueen koko saa olla korkeintaan 50 ha. Kentälle tuleva vesi olisi saatava jakaantumaan koko alueelle mahdollisimman tasaisesti ja kentälle ei saisi syntyä huomattavia oikovirtauksia. Pintavalutuskentän vedenpinnan nousu ei saa aiheuttaa yläpuolisen alueen kohtuutonta vettymistä eikä alapuolisen vesistön tulva saa nousta kentälle. Tehokkaasti toimiva kenttä on mahdollisimman luonnontilainen paksuturpeinen suo. Ravinteiden sitoutumista tehostaa myös runsas kosteikkokasvillisuus. Pintavalutuskentän tehokkuutta voidaan parantaa yhdistämällä laskeutusallas pintavalutuskentän yläpuolelle (Joensuu ym. 2007).

Haja-asutuksen jätevesien kuormituksen vähentäminen

Uusi ympäristönsuojelulaki on tiukentanut haja-asutuksen jätevesien käsittelyn määräyksiä. Asetus talousjätevesien käsittelystä vesihuoltolaitosten viemäriverkostoon ulkopuolisilla alueilla tuli voimaan 1.1.2004 (542/2003). Se edellyttää jätevesien puhdistamista, mikäli kiinteistössä syntyy jätevesiä ja jos kiinteistöä ei ole liitetty

yleiseen viemäriverkostoon. Sen mukaisesti vanhat jätevesijärjestelmät on kunnostettava asetuksen vaatimuksen mukaisesti vuoteen 2013 mennessä. Uusia kiinteistöjä vaatimukset koskevat heti. Asetuksessa määritellään jätevesien käsittelylle vähimmäispuhdistusvaatimukset. Normaali käsittelyvaatimus on biologiselle hapenkulutukselle (BOD₇) 90 %, fosforille 85 % ja typelle 40 %. Kunta voi ympäristönsuojelumääräyksissään lieventää vaatimuksia alueilla, joilla ympäristön pilaantumisen vaara on vähäisempi. Vastaavasti kunnat voivat antaa joillakin alueilla jätevesien käsittelystä tiukempia määräyksiä, näin on esimerkiksi merkittävillä pohjavesialueilla. Kiinteistönomistaja vastaa aina siitä, että kiinteistökohtainen jätevesijärjestelmä suunnitellaan ja rakennetaan vaatimusten mukaisesti.

Viemäröinti ja kunnallinen jätevesien käsittely on paras keino vähentää haja-asutuksen vesistökuormitusta. Jos kunnalliseen viemäriverkostoon liittyminen ei ole mahdollista, täytyy jätevedet käsitellä kiinteistökohtaisilla puhdistamoilla tai kiinteistöjen yhteisillä puhdistamoilla. Puhdistamot, joiden asukasvastineluku on yli 100, tarvitsevat ympäristönsuojelulain mukaisen ympäristöluvan. Nykyisen käsityksen mukaisesti kiinteistökohtaiset jätevedet on puhdistettava maaperäkäsittelyllä tai erillisissä laitepuhdistamoissa, joissa esikäsittelynä ovat saostussäiliöt. Kuivakäymälä (kompostikäymälä) on suositeltavin vaihtoehto erityisesti loma-asuntojen käymäläratkaisuksi. Fosforin poiston tehostamiseksi jätevesien käsittelyssä voidaan käyttää fosforin kemiallista saostamista (Mattila 2005).

Junttiselan valuma-alueen haja-asutuksen nykyisestä vesienkäsittelyn tasosta ei ole tietoa. Haja-asutuksen jätevesienkäsittelyn saattaminen asetuksen mukaiseksi vähentää myös osaltaan valuma-alueelta tulevaa ravinne- ja orgaanisen aineksen kuormaa.

Kiinteistökohtaiset jätevesien käsittelymenetelmät

Jätevesien käsittelymenetelmiä on useita erilaisia ja sopivan järjestelmän hankkiminen on harkittava tapauskohtaisesti. Seuraavassa on esitelty yleisimpiä haja- ja loma-asutuksen jätevesienkäsittelyn vaihtoehtoja.

- 1) Umpisäiliö on tiivis säiliö jäteveden tilapäiseen välivarastointiin. Umpisäiliö soveltuu wc-vesien keräämiseen erillisviemäröintijärjestelmässä. Tällöin ns. harmaat jätevedet käsitellään erillisellä järjestelmällä, esimerkiksi maahanimeyttämöllä. Umpisäiliön käytön ongelmana on tiheän tyhjennysvälin takia koituvat kalliit käyttökustannukset. Umpisäiliö tulee kysymykseen lähinnä poikkeustapauksissa, kuten pohjavesialueilla, joilla jätevesiä ei voi käsitellä kiinteistöllä pohjaveden pilaantumisriskin takia.
- 2) Maahanimeytyksessä jätevesi johdetaan saostussäiliöiden jälkeen imeytysputkia pitkin sepelikerrokseen, josta vesi vähitellen imeytyy maaperään. Sepelikerrokseen ja maaperään kehittyy mikrobikasvusto, joka hajottaa jätevedessä olevaa orgaanista ainesta. Edellytyksenä on, että maaperä imee hyvin vettä, pohjavesi on yli metrin syvyydellä imeytyspinnasta eikä paikka ole pohjavesialueella. Maahanimeyttämö voidaan toteuttaa yhtenäisenä kenttänä tai erillisinä imeytysojastoina. Maahanimeyttämö sopii lähinnä vähäisille jätevesimäärille tai pelkkien pesuvesien käsittelyyn, esimerkiksi loma-asutuksen jätevesien käsittelyyn. Hyvin vähäisten jätevesien käsittelyssä voidaan käyttää myös imeytyskaivoa tai kuoppaa.
- 3) Jos maaperä imee huonosti vettä tai jätevesien määrä on liian suuri käsiteltäväksi maahanimeyttämöllä, voidaan rakentaa maasuodattamo. Maasuodattamo tehdään ojamaiseen tai laajempaan kaivantoon, joka täytetään eri tavoin läpäisevillä sepeli- ja hiekkalajitteilla. Suodattamoon rakennetaan kaksi put-

kikerrosta, imeytys- ja kokoomaputkistot. Suodattamo eristetään pohjamaasta vedenpitävästi. Jätevesi puhdistuu suotautuessaan suodatinhiekkakerrosten läpi. Hiekkaan syntyy pieneliöstökerros samoin kuin imeytyskentässä. Puhdistunut jätevesi kerääntyy kokoomaputkistoon, mistä se johdetaan maastoon tai vesistöön. Fosforin poiston tehostamiseksi maasuodattamoon voidaan lisätä tarvittaessa fosforinpoistomenetelmä.

- 4) Laite- eli pienpuhdistamot ovat tehdasvalmisteisia laitteita, joiden jätevesien puhdistus perustuu erilaisiin biologisiin ja kemiallisiin prosesseihin. Laitepuhdistamo sisältää jäteveden esikäsittelyosan, varsinaisen puhdistusprosessiosan sekä mahdollisesti erillisen fosforinpoistojärjestelmän. Yleensä laitepuhdistamoissa käytetään rinnakkain biologista ja kemiallista käsittelyä. Osa laitepuhdistamoista soveltuu myös maitohuonevesien käsittelyyn tai vaikka koko kylän yhteiseksi jätevedenpuhdistamoksi.
- 5) Kuiva- ja kompostikäymälät ovat suositeltavin vaihtoehto erityisesti loma-asuntojen käymäläratkaisuksi. Mahdollisesti syntyville harmaille jätevesille rakennetaan tällöin oma käsittelyjärjestelmänsä. Harmaiden jätevesien käsittelyyn soveltuu maasuodatus tai maahanimeytys.

Muut valuma-alueella toteutettavat toimenpiteet

Parkkimajoen valuma-alueella sijaitseva Keltunlampi on ennen (vuoteen 1986 asti) toiminut jäteveden lammikkipuhdistamona. Keltunlammen ravinnepitoisuudet ovat edelleen huomattavan korkeita. Keltunlampi on tämän perusteella edelleen merkittävä Parkkimajoen ja sitä kautta Junttiselän ravinnekuormittaja. Suunnitelmia ja tutkimuksia Keltunlammen pohjan kipsaamiseksi on tehty. Keltunlammen pohjan kipsaus saattaisi vähentää Keltunlammesta tulevaa ravinnekuormitusta. Kovin suurta merkitystä sillä ei itse Junttiselän tilanteelle ole, koska Keltunlammen aiheuttama kuormitus on melko vähäistä kokonaiskuormitukseen verrattuna.

Junttiselkää kuormittavat myös Särkijoen valuma-alueen valumavedet. Särkijärvi itsessään toimii jonkinlaisena luonnon kosteikkona ja järveen laskevat ojat suotautuvat tiheän kasvillisuusvyöhykkeen läpi. Särkijärvi on nykyisellään kohtalainen lintuvesi. Mahdollisia järvelle suunniteltavia kunnostustoimenpiteitä silmällä pitäen täytyy huomioida järven säilyminen linnustolle elinkelpoisena.

Kaupungin jätevedenpuhdistamon aiheuttaman kuormituksen vähentäminen

Kaupungin jätevedenpuhdistamo aiheuttaa merkittävän osan Junttiselän ravinne- ja kiintoainekuormituksesta. Tehdyn arvion mukaan Junttiselän ulkoisesta kuormituksesta noin 11 % fosforista ja 21 % typestä (ei sisällä Kirkkoselältä tulevaa kuormitusta) on peräisin jätevedenpuhdistamon jätevesistä. Jätevedenpuhdistamo täyttää jätevedelle asetetut puhdistusvaatimukset. Jätevesien käsittelyä olisi kuitenkin syytä edelleen tehostaa tai sijoitettava jätevesien purkuputki muualle. Yhtenä vaihtoehtona on puhdistettujen jätevesien johtaminen kaivoksen altaisiin, jonne osa jäteveden sisältämästä kiintoaine- ja ravinnekuormasta pidätyisi. Samalla todennäköisesti voitaisiin vähentää myös kaivoksen jäteveden neutraloinnissa käytettävän kipsin määrää, koska kaupungin jätevesi on ravinteikasta ja emäksistä ja siten hyvin puskuroivaa. Vastaavanlaista yhdyskunnan jäteveden kierrätystä on kokeiltu Otanmäen rikastushiekka-altaissa, jossa happamoituminen on tällä tavoin estetty (Räisänen 2007). Lisäksi hiilenlähteen lisääminen edistäisi sulfaatinpelkistäjämikrobien toimintaa, joka tuottaa alkaalisuutta, vähentää sulfaatin määrää vedestä ja edistää sulfidisakkojen muodostumista jo altaissa.

Toimenpidemahdollisuudet sisäisen ravinnekuormituksen vähentämiseksi

Ruoppaus

Ruoppaamisella ei ole todennäköisesti suurta merkitystä Junttiselän rehevyytilan vähentämiseksi (taulukko 14). Järven sisäinen ravinnekuormitus on arvioitu melko vähäiseksi verrattuna ulkoiseen kuormitukseen. Ruoppausta Junttiselän kunnostusvaihtoehtona on arvioitu lähinnä happamuuspiikkien poistamiseksi.

Pohjan peitto ja sedimentin käsittely

Junttiselän vähäisen sisäisen ravinnekuormituksen vuoksi järven pohjan peittämistä ei järven rehevyytilan vähentämiseksi ole järkevää toteuttaa (taulukko 14). Pohjan peittämistä Junttiselän kunnostusvaihtoehtona on arvioitu lähinnä happamuuspiikkien poistamiseksi.

Hapetus/ilmastus

Hapetus on yleisesti käytetty menetelmä rehevöityneiden järvien kunnostuksessa. Menetelmällä estetään rehevyydestä johtuvan happikadon syntyä ja siten pohjasta vapautuvien ravinteiden ja metallien vapautumista veteen. Junttiselän tapauksessa hapettamisen käyttäminen kunnostusmenetelmänä on kuitenkin kyseenalaista. Jos järvestä ilmenee hapettomuutta hapetuksesta huolimatta, saattaa menetelmä edistää happamuuden syntyä (taulukko 14). Hapetuksen/ilmastuksen käyttöä Junttiselän kunnostusmenetelmänä on arvioitu tarkemmin edellä happamoitumispiikkeihin liittyvien kunnostusvaihtoehtojen yhteydessä.

Fosforin saostus

Fosforin saostuksessa pyritään kemikaalien avulla sitomaan järven vesimassassa olevaa liukoista ja kasveille käyttökelpoista fosforia pohjasedimenttiin sekä parantamaan sedimentin ominaisuuksia fosforin sitomisessa. Fosforia voidaan saostaa rauta- ja alumiiniyhdisteillä. Veden kemiallisella käsittelyllä on usein lyhyt vaikutusaika, minkä vuoksi uusintakäsittely on tarpeen muutaman vuoden välein. Viime vuosikymmenien aikana Suomessa tehtyjen saostuskokeilujen perusteella on todettu, että kemiallinen käsittely sopii pienehköjen, voimakkaasti rehevöityneiden järvien rehevyyso Ongelmien hoitoon (Oravainen 2005).

Junttiselällä fosforin saostus ei ole käyttökelpoinen menetelmä järven lyhyen vii-pymän ja suuren pinta-alan vuoksi. Fosforin saostuskemikaalit ovat lisäksi happamia ja saattavat lisätä happamuusriskiä. Saostuskemikaalit sisältävät myös rautaa tai alumiinia, joilla on todettu olevan merkittävä rooli keväisissä happamuuspiikeissä (taulukko 14).

Bio-manipulaatio

Ravintoketjukurkunnostus eli bio-manipulaatio tarkoittaa menetelmää, jossa pyritään parantamaan veden laatua vähentämällä rehevöitymisen myötä järveen kehittyneitä runsasta särkikalavaltaista kalastoa tehokalastuksella. Särkikalajien poistaminen vähentää järvestä kiertävän fosforin määrää, kalojen aiheuttamaa pohjasedimentin pöyhintää sekä eläinplanktonlaidunnusta. Särkikalajien määrän vähentyessä eläinplanktonin määrä kasvaa ja siten kasviplanktoneihin kohdistuva laidunnus lisääntyy. Tästä seuraa levien kasvun väheneminen. Lisäksi noin sadan kilon särkisaaliin mukana on arvioitu poistuvan vesistöstä noin 500 g fosforia (Kairesalo ym. 1995, Sammalkorpi & Horppila 2005).

Junttiselällä on toteutettu tehokalastuksia liittyen Pyhäjärven pohjoisosan kunnostushankkeeseen. Kunnostushanke alkoi keväällä 2006, jolloin Juntti- ja Kirkkoselältä pyydettiin kalaa yhteensä 35 000 kg. Kesän 2007 tavoitteena on yhteensä 50 000 kg roskakalan poistopyynti. Tehokalastusta on Junttiselällä aikaisemmin toteutettu pienimuotoisemmin (Ojutkangas 2007). Järvien ravintoketjukkunnostuksen mahdollisuuksia voidaan arvioida Sarvalan ym. (1997) kehittämän menetelmän avulla (kuva 37). Tämän perusteella ravintoketjukkunnostus soveltuu kunnostusmenetelmänä Junttiselälle. Poistokalastuksella vähennetään Junttiselän runsasta kalakantaa ja oikaistaan kalastorakennetta. Junttiselän ravinnetason pienentämiseksi tehokalastuksilla ei todennäköisesti kuitenkaan ole suurta vaikutusta järven suuren ulkoisen kuormituksen vuoksi. Junttiselällä ei ole myöskään esiintynyt säännöllisiä tai runsaita leväkasvustoja, joita ravintoketjukkunnostuksella pyritään vähentämään (taulukko 14).

Vesikasvillisuuden niittäminen

Vesikasvillisuuden niiton tarkoituksena on tavallisesti parantaa järven virkistyskäytön ja linnuston viihtymisen edellytyksiä. Kasvuston poistaminen ei ole kertaluontoinen toimenpide, vaan kasvustoa on poistettava useina vuosina peräkkäin. Liiallinen vesikasvillisuuden poistaminen voi olla kuitenkin haitallista. Rantojen vesikasvillisuus toimii ympäristöstä valuvien vesien suodattimena ja veden laatu saattaa heikentyä, jos kasvillisuus poistetaan kokonaan. Kasvillisuuden täydellinen hävittäminen huonontaa myös lintujen ja kalojen elinoloja (Kääriäinen & Rajala 2005).

Junttiselän itärannalla on suoritettu vesikasvien niittoa 1990-luvulla. Käynnissä olevaan Pyhäjärven pohjoisosan kunnostushankkeeseen liittyen Junttiselällä ollaan niitetty vesikasvillisuutta kesällä 2006 yhteensä noin 50 ha alueelta. Käynnissä olevaan hankkeeseen liittyen umpeenkasvaneelle Junttiselän Itärannalle on tehty kunnostussuunnitelma koko rannalle. Kasvillisuuden poistolla ja rannan ruoppauksilla pyritään parantamaan Itärannan virkistyskäyttömahdollisuuksia. Pyhäjärven rantaosayleiskaavassa on merkitty ko. alueelle noin 20 lomarakennuksen rakennuspaikka. Rakennuspaikkojen edustat puhdistetaan kuivaan rantaan asti, muilla alueilla kasvillisuutta jätetään vesilinnuille pesimis- ja suoja-alueiksi. Junttiselän itärannan kasvillisuuden poisto suoritetaan niin, että jäljelle jäävä kasvusto takaa hyvät elinot kaloille ja linnustolle. Lisäksi rantakasvillisuutta on jätettävä suodattimeksi ranta-alueen ravinteikkaille pintavaluntavesille. Suunnitelmana on ollut järveen laskevien ojien kasvirtaminen. Junttiselän länsiranta on säästynyt rannan umpeenkasvulta runsaan asutuksen vuoksi. Järveen laskevien jokien ja ojien vesiensuojelurakenteet (esim. kosteikot) olisi otettava huomioon myös länsirannalla (Ojutkangas 2007).

10.3

Takaisinvirtauksen merkitys kunnostustoimenpiteitä suunniteltaessa

Junttiselän ja muun järivialtaan välillä tapahtuu takaisinvirtausta huhti-toukokuun aikana 17–37 vuorokauden mittaisena ajanjaksona. Takaisinvirtausilmiö on haitallinen, koska tällöin Junttiselän huonompilaatuinen vesi leviää Kirkkoselälle ja huonontaa Kirkkoselän veden laatua. Kunnostustoimenpiteitä suunniteltaessa on tärkeää ottaa huomioon takaisinvirtausilmiö ja sen vähentäminen. Takaisinvirtausta voidaan vähentää muuttamalla säännöstelykäytäntöä siten, että ylivirtaama-aikana juoksutetaan enemmän vettä. Nykyisen säännöstelykäytännön mukaan juoksutus luusuasta takaisinvirtaama-aikana on keskimäärin $1,9 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ja noin 88 %:sti alle $3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Enintään juoksutus voi olla $12 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Tämän perusteella takaisinvirtausta olisi mahdollista teoriassa vähentää $9\text{--}10 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

Leiviskä (1992) on arvioinut vuosina 1981–89 Junttiselältä Kirkkoselälle takaisinvirtaavan vesimäärän olevan $7\text{--}15 \text{ milj. m}^3 \text{ a}^{-1}$. Jos juoksutus luusuasta takaisin-

virtausaikana olisi koko ajan $12 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, takaisinvirtaus voitaisiin Leiviskän (1992) mallilaskelmien mukaisissa virtaustilanteissa useina vuosina estää kokonaan ja maksimissaankin takaisinvirtaava vesimäärä jäisi alle 3 milj. $\text{m}^3 \text{ a}^{-1}$. Käytännössä näin suuria juoksutuksia ylivirtaama-aikana ei ole mahdollista toteuttaa menetettävän vesivoiman ja mahdollisten tulvien takia. Tosin noin $10 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ virtaamalisäys tulva-aikana alajuoksulla ei juurikaan nostaisi tulvakorkeuksia.

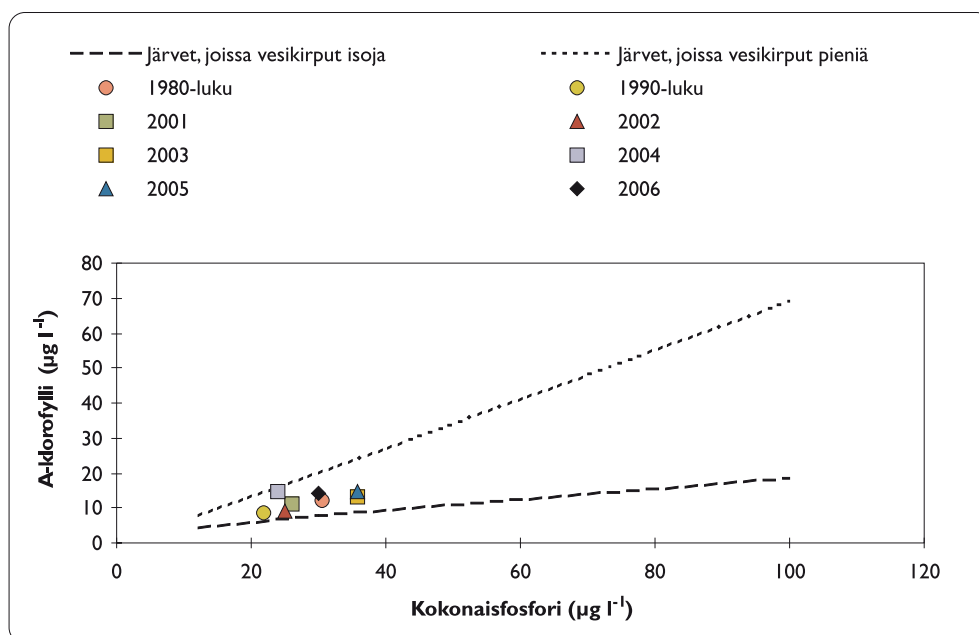
Taulukko 14.

Junttisälän kunnostusmenetelmävaihtoehtoja rehevyyden vähentämiseksi sekä soveltuvuusarviointi.

Kunnostusmenetelmä	Arvio	Perustelu
Ruoppaus	–	- sisäinen ravinnekuormitus ei ole huomattavan suurta, menetelmällä ei vähennetä merkittävästi järven ravinnetilaa
Pohjan peitto/sedimentin käsittely	–	- sisäinen ravinnekuormitus ei ole huomattavan suurta, menetelmällä ei vähennetä merkittävästi järven ravinnetilaa
Hapetus/ilmastus	+/-	- estää happikatoja ja vähentää rehevyyttä - tarvitsee ympärivuotisen hapetuksen, muutoin toimii happamuuden edistäjänä
Fosforin saostus	–	- ei käyttökelpoinen menetelmä järven suuren ulkoisen kuormituksen, lyhyen viipymän ja suuren pinta-alan vuoksi - saostuskemikaalit ovat happamia → saattaa lisätä happamuus-riskiä
Bio-manipulaatio	+	- levähaittojen vähentäminen - kalastorakenteen korjaaminen - ei suurta merkitystä Junttisälän ravinnetason pienentämiseksi suuren ulkoisen kuormituksen vuoksi
Vesikasvillisuuden niittäminen (ja Itärannan ruoppaus)	++	- umpeenkasvun estäminen - virkistyskäyttöön hyöty - ei merkitystä rehevyyden vähentämiseksi - huomioitava vesikasvillisuuden rooli kiintoaineksen ja ravinteiden puskuroijana → vältettävä liiallista vesikasvillisuuden poistoa

Taulukon merkinnät:

– = ei sovellu, +/- = ei vaikutusta tai vaikutus epävarma, ? = menetelmän sopivuudesta kohteeseen ei ole tarpeeksi tietoa, joko tausta- tai menetelmätietojen puutteellisuuden vuoksi, + = soveltuu melko hyvin, ++ = soveltuu hyvin.



Kuva 37. Junttisälän kokonaisfosforin ja a-klorofyllin välinen riippuvuus kunkin vuoden kesäkaudella määritettynä Sarvalan ym. (1997) mukaisesti.

11 Johtopäätökset

Marja-Leena Heikkinen, Hannu Nykänen & Tero Väisänen

Junttiselän keväisistä happamuuspiikeistä on vaarassa muodostua jokakeväinen ilmiö. Keväällä 2004 Junttiselän vesimassa happamoitui äkillisesti aiheuttaen kalakuolemia. Samantyyppinen happamuuspiikki esiintyi myös toukokuussa 2006. Toukokuussa 2007 vastaavanlaiselta happamoitumiselta vältyttiin, vaikka jääkannen alla tapahtui voimakasta happamoitumista helmi-maaliskuussa. Tehtyjen kenttä- ja laboratoriomittausten perusteella tilanne Junttiselällä on kuitenkin edelleen vakava, ja järven tulevaa kehitystä on vaikeaa arvioida. Todennäköisesti Junttiselällä esiintyy tulevaisuudessakin keväisiä happamuuspiikkejä. Junttiselkä on tilastaan huolimatta merkittävä virkistyskohde. Junttiselän lisäksi happamoitumisen vaikutukset ulottuvat pitkälle alapuoliseen Pyhäjokeen heikentäen myös sen tilaa.

Tutkimustiedon perusteella Junttiselän keväisen happamoitumisongelman taustalla on järven pohjan hapettomuudesta johtuva raudan ja rikkiyhdisteiden kertyminen alusveteen ja sitä seuraava kevään täyskierron yhteydessä tapahtuva hapettumisreaktio. Kunnostustoimenpiteitä ajatellen olisi keskeistä vähentää liukoisten metallien ja rikin määrää vesirungossa. Ravinnekuormitusta vähentävillä toimenpiteillä Junttiselän rehevyyden kehitystä saataisiin vähitellen hidastettua. Tällä parannettaisiin pohjan talviaikaista happi-tilannetta sekä järven virkistyskäyttöarvoa.

Tässä suunnitelmassa kunnostussuosituksia on esitetty ensisijaisesti happamuusongelman ratkaisemiseksi ja toisaalta rehevyyden vähentämiseksi. Haasteelliseksi Junttiselän kunnostussuunnittelun tekee se, että rehevyys ja happamuus ovat yhteydessä toisiinsa. Esimerkiksi pohjan hapettomuutta vähentävien menetelmien, kuten hapetuksen, käyttäminen saattaa edistää happamuuden syntyä. Junttiselän kunnostuksessa olisi lähdettävä liikkeelle ulkoisen metalli-, sulfaatti- ja ravinnekuormituksen vähentämisestä ja vasta tämän jälkeen suunnitella toimenpiteitä itse järvaltaaseen. Tulevaisuudessa Junttiselällä mahdollisesti toteutettavat toimenpiteet vaativat lisäselvityksiä. Vuosikymmenien kuormituksen aiheuttamasta muuttuneesta monimutkaisesta kokonaisuudesta yksinkertaista ja nopeaa ratkaisua Junttiselän tilan parantamiseksi on vaikea löytää. Kuormituksen vähennystoimiin olisi kuitenkin ryhdyttävä Junttiselän tilan heikkenemisen estämiseksi – tai ainakin hidastamiseksi.

- Airiola, S. 2000. Pyhäjärven Junttiselän vesiensuojelun ja kunnostuksen yleissuunnitelma. 69 s. Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskus, Kalajokilaakson osasto. Julkaisematon raportti.
- Blodau, C. 2006. A review of acidity generation and consumption in acidic coal mine lakes and their watersheds. *Science of the Total Environment* 369: 307–332.
- Deng, Y. & Stumm, W. 1994. Reactivity of aquatic iron (III) oxyhydroxides-implications for redox cycling of iron in natural waters. *Applied Geochemistry* 9: 23–36.
- Eloranta, P. 1984. Biologisten menetelmien käyttö vesien tilan arvioinnissa. Jyväskylän yliopiston biologian laitoksen opetusmonisteita 47.
- Eloranta, P. 1997. Limnologian perusteet. Helsingin yliopisto. Limnologian ja ympäristönsuojelun laitos. Moniste.
- Frömmichen, R., Wendt-Potthoff, K., Friese, K. & Fischer, R. 2004. Microcosms studies for neutralization of hypolimnetic acid mine pit lake water (pH 2,6). *Environ. Sci. Technol.* 38 (6): 1877–1887.
- Haakana, H., Aronen, K. & Marjomäki, T. 1997. Kalastus ja kalakantojen tila Pyhäjärvessä ja säännöstelyn vaikutukset niihin sekä esitys kalakantojen hoito-ohjelmaksi. Keski-Pohjanmaan ympäristökeskus. Alueelliset ympäristöjulkaisut 45.
- Hakala, A. & Salonen, V-P. 2004. The history of airborne lead and other heavy metals as revealed from sediments of Lake Vähä-Pitkusta, SW Finland. *Bulletin of the Geological Society of Finland* 76: 19–30.
- Himmi, M. 2006. Pyhäsalmen kaivos (Inmet Mining Oy). Henkilökohtainen tiedonanto.
- Heinonen, P. & Hongell, H. 1985. Oulun läänin Pyhäjärven rehevöitymiskehitys. Vesi- ja ympäristöhallituksen julkaisuja 27.
- Huttunen, S., Laine, K., & Torvela, H. 1985. Seasonal sulphur contents of pine needles as indices of air pollution. *Annales Botanicae Fennici* 22: 343–359.
- Huttunen, P. & Turkia, J. 1994. Diatoms as indicators of alkalinity and TOC in lakes: estimation optima and tolerances by weighted averaging. *Memoirs of the California academy of sciences* 17.
- Häikiö, M., Laitinen, J., Lakso, E. & Lehtinen, A. 1998. Laskutusaltaiden käyttökelpoisuus viljelyalueiden vesiensuojelussa. Suomen ympäristö 233.
- Joensuu, I. (toim.) 2002. Tuusulanjärven kunnostusprojekti vuonna 2001. 50 s. Uudenmaan ympäristökeskus. Moniste 119.
- Joensuu, S., Makkonen, T. & Matila, A. 2007. Metsätalouden vesiensuojelu. 48 s. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio.
- Kairesalo, T., Hartikainen, H., Tuominen, L., Koski-Vähälä, J. & Liukkonen, M. (1995). Sedimentti ja sedimentaatiotutkimukset. Teoksessa Sammalkorpi, I., Keto, J., Kairesalo, T., Luokkanen, E., Mäkelä, M., Vääriskoski, J. & Lammi, E. (toim.): Vesijärvi- ja vesistöprojekti 1987–1994, 69–73. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja – sarja A 218.
- Kauppi, P., Anttila, P., Karjalainen-Balk, L., Kenttämies, K., Kämäri, J. & Savolainen, I. 1990. Happamoituminen Suomessa, HAPRO:n loppuraportti. 89 s. Ympäristöministeriö, sarja A 89.
- Kauppi, T. 2006. Sediment-based study of the effects of decreasing mine water pollution on a heavily modified, nutrient enriched lake. *Journal of Paleolimnology* 35: 25–37.
- Kauppi, T., Kihlman, S. & Mäkinen, J. 2006. Distribution of arcellaceans (testate amoebae) in the sediments of a mine water impacted bay of lake Retunen, Finland. *Water, air, and soil pollution* 172: 337–358.
- Kauppi, T., Moisio, T. & Salonen, V-P. 2002. A diatom-based inference model for autumn epilimnetic total phosphorus concentration and its application to a presently eutrophic boreal lake. *Journal of Paleolimnology* 27: 261–273.
- Kekkonen, V. & Korhonen T. 1999. Pyhäjärven rantojen osayleiskaavan ympäristöselvitys. Moniste.
- Koskela, J. 1990. Pyhäjärven ilmansuojelun esi- ja perusselvitys. 27 s. Pyhäjärven ympäristönsuojelulautakunnan julkaisuja n:o 1. Pyhäsalmi.
- Kouvalainen, S. 2007. Limnologi. Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskus. Henkilökohtainen tiedonanto.
- Kääriäinen, S. & Rajala, L. 2005. Vesikasvillisuuden poistaminen. 249–270. Julkaisussa: Ulvi, T. & Lakso, E. (toim.). Järvien kunnostus. Suomen ympäristökeskus. Ympäristöopas 114.
- Lakso, E. 2007. Vesi- ja ympäristötekniikan laboratorio, professori. Oulun yliopisto. Henkilökohtainen tiedonanto.
- Lappalainen, M. & Lakso, E. 2005. Järven hapetus. 151–168. Julkaisussa: Ulvi, T. ja Lakso, E. (toim.). Järvien kunnostus. Suomen ympäristökeskus. Ympäristöopas 114.
- Lappalainen, M. & Matinvesi, J. 1990. Järven fysikaalis-kemialliset prosessit ja ainetaset. 54–82. Teoksessa: Ilmavirta, V. (toim.). Järvien kunnostuksen ja hoidon perusteet.
- Leiviskä, P. 1992. Pyhäjoen virtaamat säännöstelyajanjaksolla 1961–1989. Kokkolan vesi- ja ympäristöpiiri. Moniste.
- Lepistö, L. 1988. Sentriset piileväsuuvut *Melosira agardh* ja *Rhizosolenia Ehrenberg* sekä laji *Attheya zachariasii* brun Suomen järvien tilan kuvaajina. 103 s. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja, nro. 86.
- Lewadowski, J. 2002. Untersuchungen zum Einfluss seeinterner Verfahren auf die Phosphor-Diagenese in Sedimenten, Väitöskirja. Humboldt-Universität zu Berlin. Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät.
- Manahan, S.E. 2000. Environmental chemistry. 898 s. Boca Raton, Florida: Press LLC.
- Mattila, H. 2005. Ulkoisen kuormituksen vähentäminen. 137–150. Julkaisussa: Ulvi, T. ja Lakso, E. (toim.). Järvien kunnostus. Suomen ympäristökeskus. Ympäristöopas 114.

- Mikkola, M. & Pakkala, J. (toim.) 1997. Keski-Pohjanmaan vesistöjen tila ja vesiensuojelun kehittämissuunnitelma. Keski-Pohjanmaan ympäristökeskus. Alueelliset ympäristöjulkaisut 27.
- Moncur, M.C., Ptacek, C.J., Blowes, D.W. & Jambor, J.L. 2006. Spatial variations in water composition at a northern Canadian lake impacted by mine drainage. *Applied Geochemistry* 21: 1777–1817.
- Mustikkamäki, U. 2003. Ympäristönsuojelu. Teoksessa: Tulkku, J. (toim.): Ruotasen savut. 432–440. Ruotasen maamiesseura ry. Gummerus Kirjapaino Oy, Jyväskylä.
- Mäkinen, J. 2003. Natural arsenic and lead concentration levels in Finnish lake sediments. 84–87. Julkaisussa: Honkanen, J.O. & Koponen, P.S. (toim.) Sixth Finnish Conference of Environmental Sciences. Joensuu, May 8–9, 2003. Current Perspectives in Environmental Science and Technology. Finnish Society for Environmental Sciences.
- Mäkinen, J. 2004. Arseeni järvisedimenteissä. 73–88. Teoksessa: Loukola-Ruskeeniemi, K. & Lahermo, P. (toim.) Arseeni Suomen luonnossa, ympäristövaikutukset ja riskit. Geologian tutkimuslaitos.
- Mäkinen, J. & Pajunen, H. 2005. Correlation of carbon with acid-soluble elements in Finnish lake sediments: two opposite composition trends. 166–181. Teoksessa *Geochemistry: exploration, environmental analysis* 5 (2).
- Naturvårdsverket 1999. Bedömningsgrunder för miljökvalitet, Sjöar och vattendrag. 101 s. Rapport 4913.
- Nordstrom, D.K. & Alpers, C.N. 1999. Geochemistry of acid mine waters. 133–160. Teoksessa: G.S. Plumlee and M. J. Longsdon (toim.) The Environmental Geochemistry of Mineral Deposits. Part A: Processes, Techniques and Health Issues. Society of Economic Geologists, Reviews in Economic Geology, Volume 6A.
- Nykänen, H. 2007a. Kuopion yliopisto. Henkilökohtainen tiedonanto.
- Nykänen, H. 2007b. Junttiselän sedimentin ja veden prosessitutkimukset. 14 s. Kuopion yliopisto. Julkaisematon raporttiluonnos.
- Ojutkangas, E. 2007. Biologi. Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskus. Henkilökohtainen tiedonanto.
- Oravainen, R. 2005. Fosforin kemiallinen saostus. 191–202. Julkaisussa: Ulvi, T. & Lakso, E. (toim.). Järvien kunnostus. Suomen ympäristökeskus. Ympäristöopas 114.
- Peltola, T., Heikkinen, M.-L. & Rahkila, R. 2006. Yhteistyöllä voimaa vesiensuojeluun! Siuruanjoki kuntoon -yhteishankkeen (2000–2006) loppuraportti. Suomen ympäristö 54.
- Puustinen, M. 1999. Viljelymenetelmien vaikutus pintaeroosioon ja ravinteiden huuhtoutumiseen. Suomen ympäristö 285.
- Puustinen, M., Koskiahio, J., Gran, V., Jormola, J., Maijala T., Mikkola-Roos, M., Puumala M., Riihimäki, J., Rätty, M. & Sammalkorpi, I. 2001. Maatalouden vesiensuojelukosteikot. VESIKOT-projektin loppuraportti. Suomen ympäristökeskus 499.
- Rask, M. 1988. Happamuuden vaikutus kaloihin. 15–23. Julkaisussa: Niemi, J. (toim.) Hälyttävät muutokset vesiekosysteemeissä. Vesi- ja Kalatalousalan Ammattijärjestö VKA ry. Helsinki.
- Räisänen, M L. 1995. Maaperän happamoitumisherkkyyden geokemiallinen tutkimus. Teoksessa: Pyhäsalmen kaivosalueen ympäristön maaperätutkimukset. Geologian tutkimuskeskus.
- Räisänen, M L., Nikkarinen, M., Nenonen, K. & Mustikkamäki, U-P. 1996. Rikin, arseenin ja raskasmetallien liikkuvuus ja pidentyminen metsämaannokseen Pyhäsalmen kaivoksen ympäristössä. Julkaisussa: Nystén, T., Suokko, T. & Tarvainen, T. (toim.) Ympäristögeologian sovelluksia : GTK - SYKE ympäristötutkimusseminaari 1.10.1996. Suomen ympäristö 71, 93–102.
- Räisänen, M L. 2007. GTK, Kuopio. Henkilökohtainen tiedonanto.
- Räisänen, M L. & Mäkinen, J. 2007. Pyhäjärven Junttiselän veden ja pintasedimenttien vuodenaikainen koostumusvaihtelu, 2005–2007. 40 s. Geologian tutkimuskeskus, Itä-Suomen yksikkö, Kuopio. Arkistoraportti S49/0000/2007/44.
- Salmela, K. 1999. Peltalueiden vesiensuojellisten suojavyöhykkeiden yleissuunnitteluopas. Lounais-Suomen ympäristökeskuksen moniste 6/99.
- Salonen, V-P., Tuovinen, N. & Valpola, S. 2000. Pyhäsalmen Junttisyvän sedimenttitutkimus. Turun yliopisto, geologian laitos. Tutkimusraportti.
- Salonen, V-P., Tuovinen, N. & Valpola, S. 2006. History of drainage impact on lake Orijärvi algal communities, SW Finland. *J. of Paleolimnology* 35: 289–303.
- Sammalkorpi, I. & Horppila, J. 2005. Ravintoketjukurinostus. 169–190. Julkaisussa: Ulvi, T. ja Lakso, E. (toim.). Järvien kunnostus. Suomen ympäristökeskus. Ympäristöopas 114.
- Sarvala, J., Helminen, H. & Kirkkala T. 1997. Pyhäjärven vedenlaatu ja sitä säätelevät tekijät. *Vesitalous* 38 (3): 15–20
- Savolainen, M., Kaasinen, A., Heikkinen, K., Ihme, R., Kämä, T. & Alasaarela E. 1996. Turvetuotannon vesiensuojeluvaihtoehtojen tapauskohtainen vertailu. Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskus. Suomen ympäristö 35.
- Sorvari, S. 2001. Climate impacts on remote subarctic lakes in Finnish Lapland: limnological and palaeolimnological assessment with a particular focus on diatoms and Lake Saanaajärvi. 50 s. Väitöskirja Helsingin yliopisto.
- Soveri, J. & Peltonen, K. 1996. Lumen ainepitoisuudet ja talviaikainen laskeuma Suomessa vuosina 1976–1993. Suomen ympäristökeskus, Suomen ympäristö 6.
- Sunnari H. 2006. Pyhäjärven Junttiselän veden laatu, kuormitusanalyysi ja sedimenttitutkimukset. Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskus, Oulu. Julkaisematon raportti.
- Sutela, T. & Siira, O-P. 2005. Taivalkosken Mustavaaran kaivoksen vaikutus alapuolisen vesistön metalli- ja muihin ainepitoisuuksiin. Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskus. Alueelliset ympäristöjulkaisut 384.
- Särkkä, J. 1996. Järvet ja ympäristö. Limnologian perusteet. 157 s. Tammer-Paino Oy, Tampere.
- Tolkkinen, M. 2007. Pyhäjärven Junttiselän vesistötutkimus – järven kuormitushistoria piillevien ilmentämänä. 82 s. Pro gradu-tyo. Geologian laitos, Oulun yliopisto.
- Uusi-Kämpä, J. & Kilpinen, M. 2000. Suojakaistat ravinnekuormituksen vähentäjänä. 49 s. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja – sarja A 83.

- Van Dam, H., Mertens, A. & Sinkeldam, J. 1994. A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from the Netherlands. *Netherlands journal of aquatic ecology*. 28: 117–133.
- Vattenresurs 2007. The Cover-method. <http://www.vattenresurs.se/vreng.htm>.
- Weckström, J. 2001. Assessment of diatoms as markers of environmental change in Northern Fennoscandia. 51 s. Yliopistopaino, Helsinki.
- Weppling, K. & Iivonen, P. 2005. Kalkitus. 271–286. Julkaisussa: Ulvi, T. ja Lakso, E. (toim.). Järvien kunnostus. Suomen ympäristökeskus. Ympäristöopas 114.
- Vesajoki, H. 1969. Oulun läänin Pyhäjärvi. 112 s. Pro gradu-työ. Maantieteen laitos, Oulun yliopisto.
- Vesi- ja ympäristöhallitus 1988. Vesistöjen laadullisen käyttökelpoisuuden luokittaminen. 48 s. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja 20.
- Viinikkala, J. 2007. Rakennuttamisinsinööri, Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskus, Oulu. Henkilökohtainen tiedonanto.
- Viinikkala, J., Mykkänen, E. & Ulvi, T. 2005. Ruoppaus. 211–226. Julkaisussa: Ulvi, T. ja Lakso, E. (toim.). Järvien kunnostus. Suomen ympäristökeskus. Ympäristöopas 114.
- Väisänen, T. 2005. Rehevän järven kunnostusmenetelmän valinta. 101 s. Lisensiaatintyö. Vesi- ja ympäristötekniikan laboratorio, Oulun yliopisto.
- Ympäristöhallinto 2007. Riverlife-projekti. Haitalliset aineet. <http://www.ymparisto.fi/riverlife> > Ihmisen vaikutus jokeen > Jokivesistöjen haitalliset aineet ja ainekset

KUVAILULEHTI

Julkaisija	Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskus			Julkaisu-aika Lokakuu 2007
Tekijä(t)	Marja-Leena Heikkinen ja Tero Väisänen (toim.)			
Julkaisun nimi	Pyhäjärven Junttiselän tila ja kunnostusmahdollisuudet			
Julkaisusarjan nimi ja numero	Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskuksen raportteja 7/2007			
Julkaisun tema				
Julkaisun osat/ muut saman projektin tuottamat julkaisut				
Tiivistelmä	<p>Pyhäjärven Junttiselkää ovat vaivanneet keväiset, kalakuolemia aiheuttaneet happamuuspiikit. Keväällä 2004 Junttiselän vesimassa happamoitui äkillisesti ja samantyyppinen happamuuspiikki esiintyi myös keväällä 2006. Happamuuspiikkien taustalla on todettu olevan järven pohjan hapettomuudesta johtuva raudan ja rikkiyhdisteiden kertyminen alusveteen ja sitä seuraava kevään täyskierron yhteydessä tapahtuva hapettumisreaktio. Hapettuminen tuottaa happoa, joka laskee nopeasti koko Junttiselän pH:n alhaisiin lukemiin. Rikkiyhdisteiden lähteenä on järven pohjan noin 14–20 cm:n paksuinen, lähinnä kaivoksen jätevesipäästöistä lähtöisin oleva rikkipitoinen kerros, jossa osa rikistä on sulfideina. Raudan lähteenä on lähinnä järven pohjasedimentti ja vedessä oleva rautapitoinen kiintoaines. Runsaasti rautaa sisältäviä vesiä laskee Junttiselkään valuma-alueelta.</p> <p>Vuosikymmenien kuormituksen aiheuttamasta monimutkaisesta kokonaisuudesta yksinkertaista ja nopeaa ratkaisua Junttiselän tilan parantamiseksi on vaikeaa löytää. Ulkoisen sulfaatti- ja metallikuormituksen vähentäminen on ensisijainen toimenpide järven kunnostusta suunniteltaessa. Vasta tämän jälkeen toimenpiteitä voidaan kohdentaa tarvittaessa järvaltaaseen. Junttiselän rehevyytilan vähentämisellä parannetaan järven pohjan talviaikaista happipitilannetta sekä järven virkistyskäyttöarvoa. Ilman kunnostustoimenpiteitä Junttiselällä esiintyy todennäköisesti tulevaisuudessakin ajoittaisia happamuuspiikkejä.</p> <p>Junttiselän happamoitumista on tutkittu vuosina 2006–2007 Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskuksen, GTK:n Itä-Suomen yksikön sekä Kuopion ja Oulun yliopistojen yhteistyönä. Tässä selvityksessä on koottu yhteen Junttiselän happamuutta koskevien tutkimusten keskeiset tulokset. Tämän pohjalta on esitetty Junttiselän kunnostussuositukset ensisijaisesti happamuuspiikkien poistamiseksi sekä rehevyyden vähentämiseksi.</p>			
Asiasanat	Pyhäjärvi, Junttiselkä, happamoituminen, rehevöityminen, geokemia, veden laatu, järvisedimentti, piilevät, järvien kunnostaminen			
Rahoittaja/ toimeksiantaja	Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskus			
	ISBN (nid.)	ISBN 978-952-11-2846-2 (PDF)	ISSN (pain.)	ISSN 1796-1947 (verkkoj.)
	Sivuja 78	Kieli suomi	Luottamuksellisuus julkinen	Hinta (sis.alv 8 %)
Julkaisun myynti/ jakaja	Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskus, Asiakaspalvelu: puh. 020 490 111 www.ymparisto.fi/ppo/julkaisut			
Julkaisun kustantaja	Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskus			
Painopaikka ja -aika	Oulu 2007			

Junttiselkä on Pyhäjärven erillinen, muuta järveä rehevämpi, pienehkö selkävesi. Junttiselällä on esiintynyt keväisiä happamuuspiikkejä 1990-luvun lopulta lähtien. Keväällä 2004 Junttiselän vesimassa happamoitui äkillisesti aiheuttaen runsaita kalakuolemia Junttiselällä ja alapuolisessa Pyhäjoessa. Samantyyppisiä keväisiä happamuuspiikkejä on esiintynyt tämän jälkeenkin.

Junttiselän happamoitumista on tutkittu vuosina 2006–2007 Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskuksen, GTK:n Itä-Suomen yksikön sekä Kuopion ja Oulun yliopistojen yhteistyönä. Tässä selvityksessä on koottu selvityshankkeen keskeiset tulokset ja niiden pohjalta esitetyt kunnostussuositukset.



POHJOIS-POHJANMAAN
YMPÄRISTÖKESKUS

ISBN 978-952-11-2846-2 (PDF)

ISSN 1796-1947 (verkkokoj.)